

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

**Konstrukční návrh schodolezu s pohybem po rovných i točitých  
schodech**

***Construction Design of a Stairclimber with Movement on Straight and  
spiral Stairs***

Student:

Bc. Tomáš Vlček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

**Ostrava 2018**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Vlček**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: Konstrukční návrh schodolezu s pohybem po rovných i točitých schodech  
Construction Design of a Stairclimber with Movement on Straight and Spiral Stairs  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí schodolezu s pohybem po rovných i točitých schodech.
2. Proved'te výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému Creo.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodno'te dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINCIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.

SKARUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Vienaľa Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

KOLÍBAL, Z a kol. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. I. vydání. Havlíčkův Brod: VUTIIUM, 2016, 786 s. ISBN 978-80-214-4828-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21.5. 2018




.....

Tomáš Vlček

## Prohlašuji, že\

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu o oprávnění užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5. 2018



.....

Tomáš Vlček

Máchova 72

741 01, Nový Jičín

## **Poděkování**

V první řadě, bych chtěl poděkovat své ženě Mili, za podporu a trpělivost, kterou se mnou měla v průběhu celého studia. Dále děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. za podklady, připomínky a cenné rady při vypracovávání práce. V poslední řadě bych rád poděkoval kolegům v práci, jmenovitě Ing. Janu Pustelníkovi.

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VLČEK, T. *Konstrukční návrh schodolezu s pohybem po rovných i točitých schodech*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2018, 73s. Vedoucí práce: Kárník, L.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem kolového schodolezu s možností pohybu po rovných i točitých schodech. Úvod práce je zaměřen na popis stávajících provedení schodolezů, jejich možných použití v praxi, výhody a nevýhody. Součástí práce je analýza stávajících variant provedení řešení a následný výběr optimální, pomocí vícekritériální analýzy. Práce obsahuje také 3D model finální varianty provedení pásové jednotky v CAD systému SolidWorks, sestavný výkres, výrobní výkresy, pevnostní analýzu rámu zařízení, pevnostní kontrolu uložení ložisek a výpočet těsnících O kroužků.

## ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

VLČEK, T. *Construction Design of a Stairclimber with Movement on Straight and Spiral Stairs*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Robotics, 2018, 73 s. Supervisor of the thesis: Kárník, L.

This diploma thesis deals with the design proposal of wheel unit of the Stairclimber with possibility of movement on straight and spiral stairs. The introduction of the thesis is focused on nowadays solution of the current stairclimbers, it's possible use in practice, advantages and disadvantages. Part of diploma thesis is analyze of nowadays solution and followed by selection of the optimum, by using the multi criteria analysis. This bachelor thesis also includes a 3D model of the final design variant of the track unit of the mobile robot ARES in the CAD system SolidWorks, a assembly drawing, parts drawings, FEA calculation of frame of vehicle, calculation of bearings and calculation of seal O rings.



# Obsah

Seznam použitého značení.....	8
1. Úvod.....	10
2. Servisní roboty s kolovým lokomočním ústrojím.....	11
2.1 Základní rozdělení kolového lokomočního ústrojí .....	11
2.2 Základní pojmy .....	12
3. Servisní roboty s pásovým lokomočním ústrojím .....	14
3.1 Koncepce pásových lokomočních ústrojí.....	14
3.2 Problematika pásových lokomočních ústrojí .....	16
3.2.1 Uvolňování pásu .....	16
3.2.2 Zouvání pásů.....	16
3.2.3 Životnost pásu.....	16
3.2.4 Napínání pásu .....	17
4. Rešerše dostupných schodolezů.....	18
4.1 Popis možných provedení schodolezů .....	18
4.1.1 Kolové schodolezy.....	18
4.1.2 Pásové schodolezy .....	19
4.2 Analýza pohybu po schodištích .....	20
4.2.1 Analýza pohybu kolového schodolezu .....	21
4.2.2 Analýza pohybu pásového schodolezu .....	23
5. Požadavkový list .....	27
6. Varianty řešení .....	31
6.1 Varianta lokomočního ústrojí kolo.....	31
6.2 Varianta lokomočního ústrojí pás .....	32
7. Vícekriteriální analýza .....	33
7.1 Kritéria rozhodování .....	33
7.2 Stupnice hodnocení jednotlivých kritérií .....	33
7.3 Ohodnocení kritérií .....	34

7.4	Váha významnosti jednotlivých kritérií .....	34
7.5	Výsledky hodnotové analýzy .....	35
8.	Detailní řešení zvolené varianty .....	36
8.1	Rám .....	36
8.2	Přední a zadní náprava .....	38
8.2.1	Hnací kolo .....	40
8.2.2	Kyvka .....	41
8.2.3	Rameno .....	42
8.2.4	Řízení .....	43
8.2.5	Konzoly .....	44
8.3	Střední náprava .....	44
8.4	Točna .....	45
9.	Kontrolní výpočty .....	48
9.1	Výpočet a dimenzování motoru .....	48
9.1.1	Planetová převodovka .....	50
9.1.2	RE motor .....	50
9.2	FEM analýza rámu konstrukce .....	51
9.3	Návrh ložiska hnacího kola .....	52
10.	Montáž přední nápravy .....	54
10.1	Montáž hnacího kola .....	54
10.2	Montáž kyvka .....	56
10.3	Montáž řízení .....	57
11.	Požadavky na provoz a údržbu .....	58
11.1	Pohyb po rovném schodišti .....	58
11.2	Pohyb po točitém schodišti .....	59
11.3	Údržba zařízení .....	60
12.	Krytování a bezpečnost zařízení .....	61
13.	Technickoekonomické zhodnocení .....	62

13.1	Přední a zadní náprava.....	62
13.1.1	Hnací kolo.....	62
13.1.2	Kyvka.....	63
13.1.3	Řízení.....	63
13.2	Střední náprava.....	64
13.2.1	Hnané kolo.....	64
13.3	Rám a krytování .....	65
13.4	Točna .....	65
13.5	Cena za mechanickou část celkem .....	66
14.	Závěr .....	67
15.	Seznam použité literatury a zdrojů .....	69
16.	Seznam příloh .....	71

## Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotka
$m_1$	hmotnost zařízení	[kg]
$m_2$	hmotnost pasažéra	[mm]
$m_{cel}$	hmotnost celková	[mm]
$g$	gravitační zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$a$	zrychlení robotu	[m.s <sup>-2</sup> ]
$v$	rychlost robotu	[m.s <sup>-1</sup> ]
$r_k$	poloměr kola	[mm]
$E$	modul pružnosti v ohybu	[GPa]
$F_G$	tíhová síla	[N]
$F_P$	tahová síla	[N]
$F_t$	třecí síla	[N]
$F_{cel}$	celková síla	[N]
$F_N$	síla působící na průměr	[N]
$G$	modul pružnosti ve smyku	[GPa]
$L_o$	délka pružiny ve volném stavu	[mm]
$M_o$	ohybový moment	[Nm]
$M_k$	krouticí moment	[Mm]
$P_M$	potřebný výkon elektromotoru	[kW]
$P_{M1}$	potřebný výkon na kolo	[kW]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$W_o$	modul průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]

$W_k$	modul průřezu v krutu	[mm <sup>3</sup> ]
$D$	průměr hřídele	[mm]
$l$	délka pera	[mm]
$b$	šířka pera	[mm]
$f$	koeficient tření	[-]
$k$	součinitel bezpečnosti	[-]
$n$	počet činných závitů pružiny	[-]
$p_v$	měrný tlak	[MPa]
$p_{ds}$	dovolený měrný tlak	[MPa]
$\sigma_o$	ohybové napětí	[MPa]
$\sigma_{pt}$	dovolené ohybové napětí	[MPa]
$\sigma_D$	dovolené ohybové napětí	[MPa]
$\tau_k$	smykové napětí	[MPa]
$\tau_{kd}$	dovolené smykové napětí	[MPa]

## 1. Úvod

Diplomová práce pojednává o konstrukčním návrhu zařízení pro osoby tělesně postižené nebo s omezenou možností pohybu, kdy primárním účelem zařízení je zdolat schodiště, v našem případě se jedná o schodiště přímé a točité. U točitých schodišť bude definován maximální poloměr zakřivení schodiště.

V úvodu práce jsou analyzovány stávající řešení obdobných zařízení, porovnání jednotlivých výhod a nevýhod. Způsob volby lokomočního ústrojí robotu je zvolen na základě více kritériální analýzy. Jednotlivé kritéria jsou zvolena na základě jejich počitatelnosti a tím i jednoduchého vyhodnocení.

Robot je opatřen několika moduly, jako je lokomoční ústrojí, točna a v poslední řadě sedací část.

Konstrukce robotu je navržena tak, abych splňovala kritéria a požadavky definované požadavkovým listem.

Cílem této diplomové práce je vytvoření funkčního návrhu koncepčního řešení robotu s ohledem na bezpečnostní kritéria definované normami pro obdobné typy zařízení. Hlavní cílem je zhotovení řešení, které zajistí provozuschopnost zařízení zdolat schodiště jak přímé, tak točité. Je nutno zmínit, že zařízení má omezené možnosti a mezní hodnoty budou zmíněny podrobně v detailním konstrukčním záměru.

## 2. Servisní roboty s kolovým lokomočním ústrojím

Do této skupiny SR patří všechny MSR, jejichž subsystém mobility je řešený na principu kolového podvozku. Současné statistiky potvrzují, že MSR na kolovém podvozku (kolové MSR) jsou nejpočetnější skupinou všech realizovaných MSR. Různorodost požadavků na kolové MSR, které vyplývají z potřeb jejich aplikací, technické praxe apod. naplnila různorodosti jejich konstrukční řešení. Rozdílnost kolových MSR je zejména v konstrukci kolového podvozku (subsystému mobility), řešení se odvíjí od jednokolových až po více kolové koncepce, od jednoduchých variant uspořádání podvozku až po speciální, případně kombinované systémy. [1]

Na bázi analýzy požadavků aplikací MSR a zohledněním všeobecných požadavků na MSR, lze sestavit rámcové požadavky na kolový MSR.

- Relativně nízká vlastní hmotnost MSR
- Relativně vysoká užitečná nosnost MSR
- Malé poměrové uspořádané obrysové rozměry MSR (poměr délka / šířka / výška)
- Dobrá manévrovatelnost MSR v operačním a pracovním prostoru (rozvor, rozchod, poloměr zatáčení)
- Dobrá průchodnost a brodivost

[1]

### 2.1 Základní rozdělení kolového lokomočního ústrojí

Konstrukce kolových MSR, zejména v části jeho podvozku, vychází z poznatků konstrukce kolové mobilní dopravní techniky (automobil, traktor apod.). Kolové MSR, z pohledu přístupu k řešení jejich podvozku a vyvolaných pohybových a provozních vlastností, lze kategorizovat:

**a) do skupiny nestabilních koncepcí**

- 1 a 2 kolové koncepce – konstrukce je postavená na funkčně minimálním počtu kol, uspořádání kol paralelně, případně sériově.

**b) do skupiny stabilních koncepcí**

- 3 kolové koncepce – konstrukce je postavená na minimálním počtu kol, uspořádání náprav je dvounápravové.

- 4 kolové koncepce – konstrukce je postavená na poznatcích konstrukce mobilní dopravní techniky, uspořádání náprav je dvounápravové.
- 6 a více kolové koncepce – konstrukce je postavená na speciálních řešeních, kde kola jsou většinou nezávisle zavěšené se samostatnými pohony, jsou to konstrukce zaručující průchodnost podvozku v značně členitém terénu. [1]

## 2.2 Základní pojmy

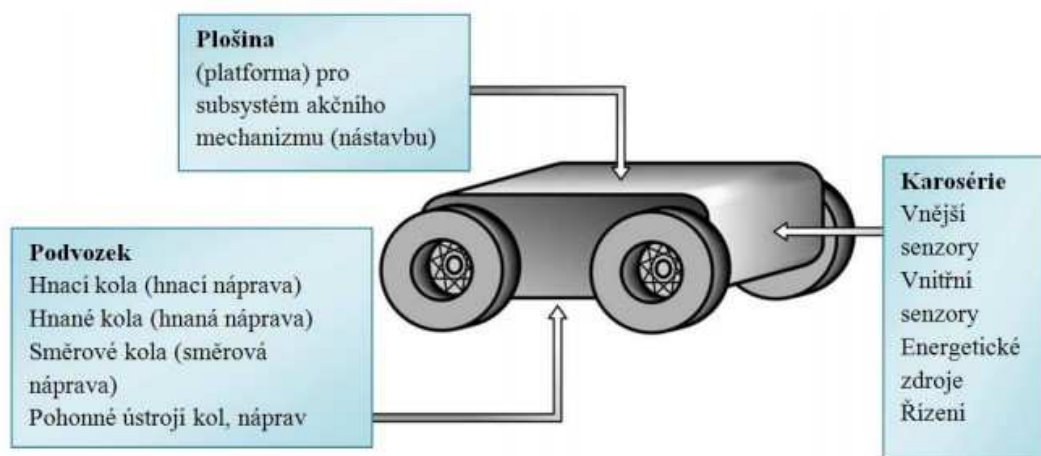
**Rám podvozku** – plní funkci rámu (rám, nosná část, kostra, skelet) podvozku, případně celého kolového MSR (uchycení plošiny pro montáž akčního subsystému mechanismu). Rám je funkčně vázaný na funkční skupiny „plošina“, „energetické zdroje“, „karosérie“ a funkční podskupinu „náprava“. [1]

**Náprava** – plní funkci lokomočního ústrojí MSR. Z pohledu realizace energie pro vykonání pohybu může být ve funkci:

- hnací nápravy – přímo propojená na pohonné ústrojí
- hnané nápravy – není propojená na pohonné ústrojí

Z pohledu realizace řízení směru pohybu může být ve funkci:

- řízené (směrové) nápravy – přímo, případně nepřímo propojená řídicím mechanismem na pohonné ústrojí pro realizaci změny směru pohybu podvozku [1]
- neřízené (vlečené) nápravy – není propojená na pohonné ústrojí pro změnu směru pohybu, směr jejího pohybu iniciuje energie hnací a řízené nápravy [1]



**Obr. 1** Schéma obecného modelu kolového podvozku MSR [1]

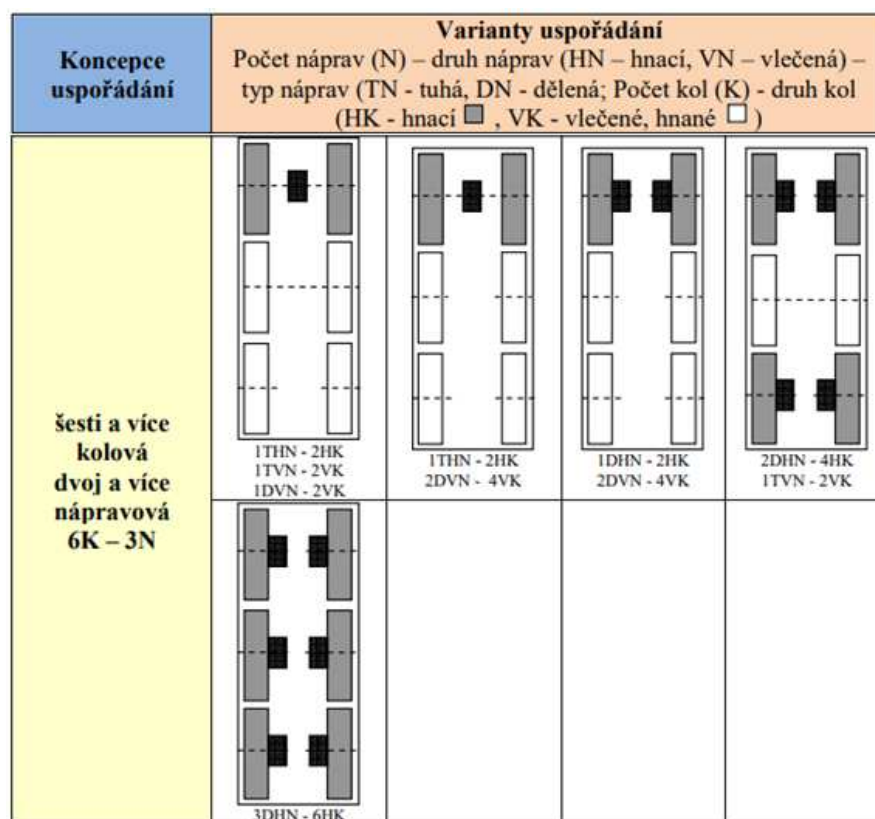


**Kolo** – je vnitřní funkční podskupinou nápravy, plní funkci výkonného prvku lokomoce, zabezpečuje kontakt MSR s povrchem podložky (terénu) po které se pohybuje. [1]

- hnací kola – přímo propojené na pohonné ústrojí
- hnané kola – není propojené na pohonné ústrojí
- řízené kola – přímo, případně nepřímě propojené na mechanismus řízení směru pohybu podvozku
- neřízené kola – není propojené na mechanismus řízení, směr jeho pohybu iniciuje energie hnací a řízené nápravy, případně je vlečené mechanikou řízení směru pohybu.

**Karosérie** – plní funkci ochranného krytu funkčních částí podvozku před nepříznivými vlivy operačního a pracovního prostředí. [1]

**Funkční skupiny** – vnitřní sensory, vnější sensory, energetické zdroje a řídicí systém v sestavě podvozku plní funkci odpovídající funkcím analogických subsystém popsaných v systémové sestavě MSR. [1]



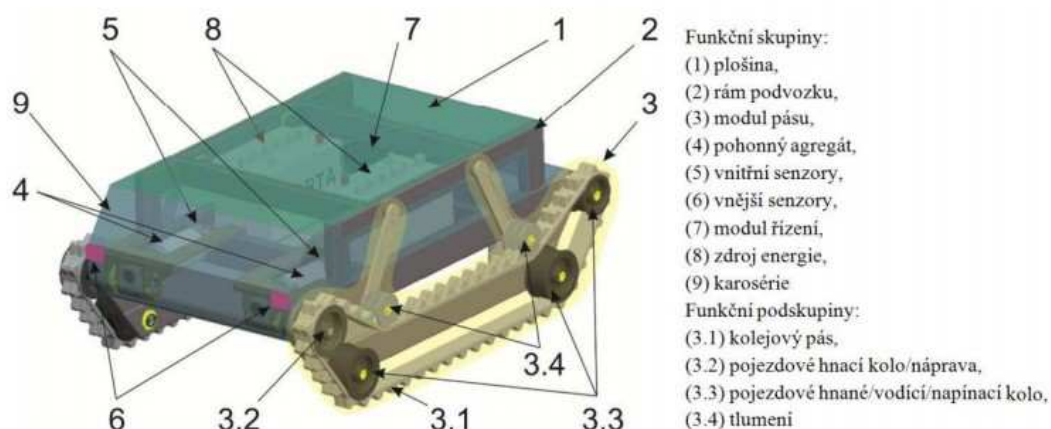
**Obr. 2** Možné varianty uspořádání lokomočního ústrojí [1]

### 3. Servisní roboty s pásovým lokomočním ústrojím

Do této skupiny SR patří všechny MSR, jejichž subsystém mobility je řešený na principu pásového podvozku. Rozptyl požadavků vyplývajících z různorodosti aplikace pásových MSR. Rozdílnost řešení pásových MSR je zejména v konstrukci jeho pásového (subsystému mobility), řešení jsou koncipovány od jednoduchých variant se dvěma pásy, až po speciální pásové, případně kombinované systémy pás-kolo, pás-kráčení. [1]

#### 3.1 Koncepce pásových lokomočních ústrojí

Koncepce řešení pásových MSR vychází z technické interpretace obecného systémového modelu MSR, systémově postaveném na aplikaci principu pásového pohybového mechanismu jako lokomočního ústrojí v sestavě subsystému mobility. [1]



**Obr. 3** Systémové schéma modelu subsystému mobility pásového robotu [1]

**Plošina (platforma)** – funkčně samostatná skupina realizující funkci nosné a montážní základny pro mechanismus subsystému akční nastavby MSR. Konstrukčně je vázaná k funkční skupině „rám podvozku“ a k subsystému akční nastavby. [1]

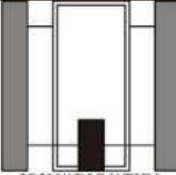
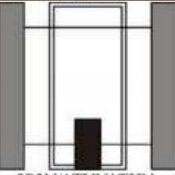
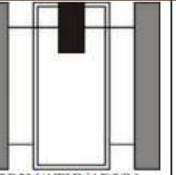
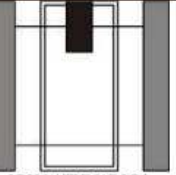
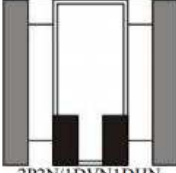
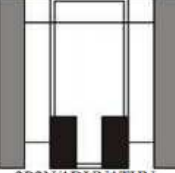
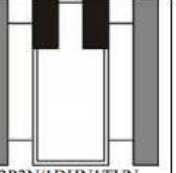
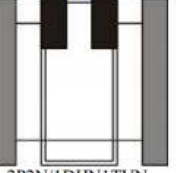
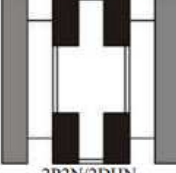
**Rám podvozku** – funkčně samostatná skupina realizující funkci kostry (rám, nosná část, základní trup, korba) subsystému mobility MSR, případně celého MSR (uchycení „plošiny“ pro montáž subsystému akčního mechanismu), zaručuje přesnou polohu všech subsystémů v sestavě pásového MSR, jako i polohu a montáž prostor pro všechny funkční skupiny a podskupiny subsystému mobility. [1]

**Modul pásu** – funkčně samostatná skupina realizující funkci lokomočního (pohybového) ústrojí MSR, je nosnou a pojezdovou částí subsystému mobility. Konstrukčně je sestavený z funkčních podskupin (komponentů): [1]

- pás – realizuje svou běhounovou částí kontakt s povrchem podložky
- hnací kolo – realizuje přenos výkonu
- hnané kolo – realizuje mechanickou podporu, tuhost a vedení pásu
- vodící kolo – realizuje trvalé přitlačení a vedení pásu
- napínací kolo – realizuje trvalé napínání pásu

Další možné druhy funkčních skupin jsou:

- Nápravy
- Pohonný agregát
- Tlumení
- Modul řízení
- Zdroj energie
- Karosérie

Koncepte uspořádání	Varianty uspořádání			
	Počet pásů (P) – počet náprav (N), druh náprav (HN – hnací, VN – vlečená, hnaná), typ náprav (T – tuhá, D – dělená)			
dvojpásová dvojstopá 2P – 2N	 2P2N/1DVN1THN	 2P2N/1TVN1THN	 2P2N/1THN1DVN	 2P2N/1THN1DVN
	 2P2N/1DVN1DHN	 2P2N/1DVN1THN	 2P2N/1DHN1TVN	 2P2N/1DHN1TVN
	 2P2N/2DHN			

**Obr. 4** Možné varianty uspořádání struktur pásových podvozků [1]

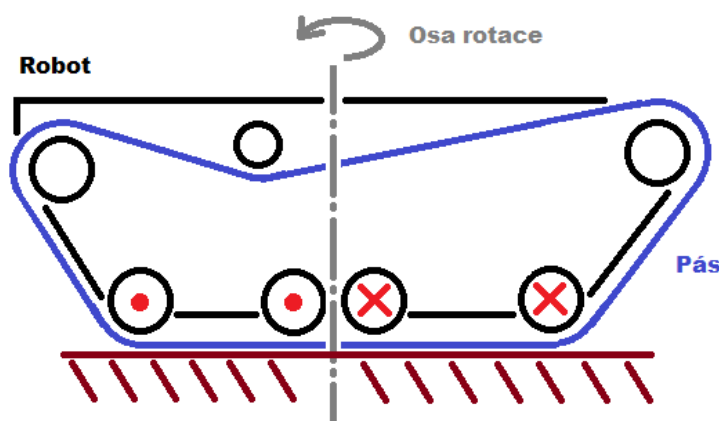
## 3.2 Problematika pásových lokomočních ústrojí

### 3.2.1 Uvolňování pásu

Tento jev vzniká nejčastěji nedostatečným napínáním pásové jednotky v průběhu jízdy robotu. Během jízdy je podvozek zatížen rázy, vibracemi a dalšími nepříznivými jevy. Toto zatížení se přenáší do konstrukce robotu a vlivem vzniklých napětí dochází k deformacím, kdy se mění geometrické vlastnosti jednotlivých dílů. Pro tyto případy se nejčastěji využívá pružného napínacího elementu, který kompenzuje tyto nepříznivé účinky a zaručuje stálou trajektorii pásu. [5]

### 3.2.2 Zouvání pásů

Za předpokladu, že osa rotace se nachází uprostřed robotu a robot kolem této osy koná otáčivý pohyb, budou ve stykových bodech mezi robotem a vozovkou vznikat momenty, které budou zatěžovat pás. Tyto moment musí konstrukce pásu zachytit nebo dojde k jeho deformaci a následnému vyzutí. [5]



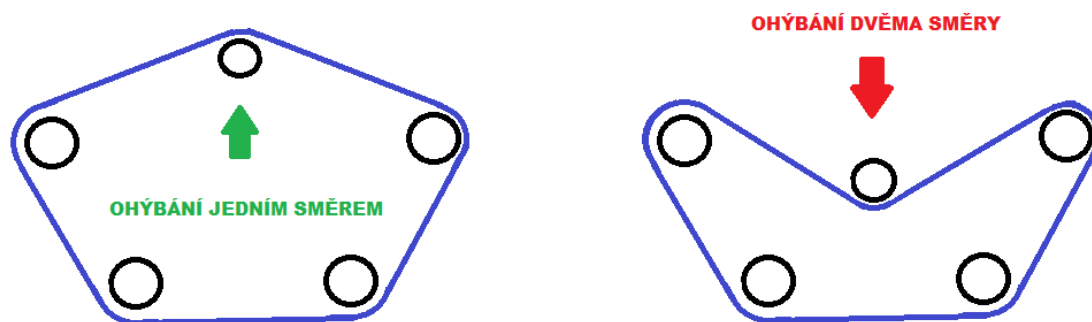
Obr. 5 Osa rotace při zatáčení robotu [5]

Červené body na obrázku znázorňují směr pohybu pásů robotu. Ve stykových bodech s vozovkou budou vznikat silové účinky od třecí síly mezi pásem a vozovkou. Výsledné momentové účinky budou působit v těchto bodech proti směru rotace robotu. Za předpokladu, že pás je zhotoven z pryže a robot se pohybuje po betonovém podkladu, je koeficient tření mezi těmito materiály  $f = 0,85$ . [8]

### 3.2.3 Životnost pásu

Lokomoční ústrojí robotu využívá, řemenový pás viz obr 2. Tento pás je napínán pomocí statického napínacího elementu. U napínání řemenu máme dvě možnosti napínání.

- Vlákna lámeme pouze v jednom směru
- Vlákna lámeme ve dvou směrech

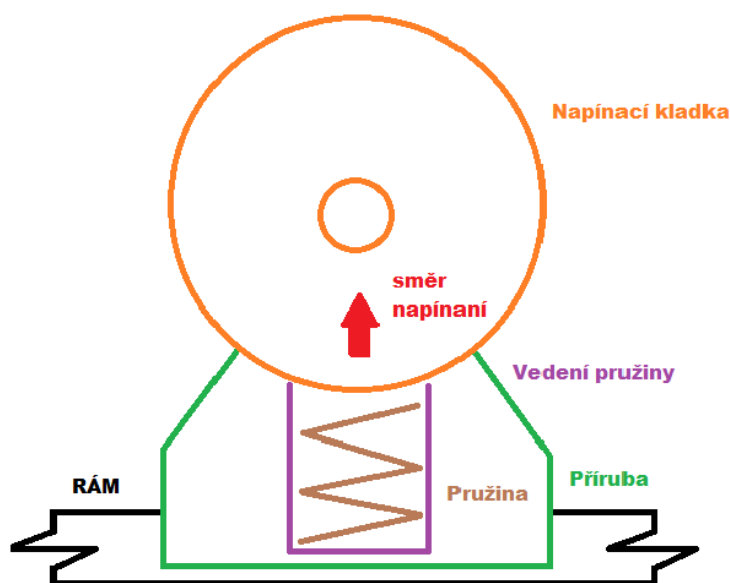


Obr. 6 Směr napínání pásů [5]

U napínání v pouze jednom směru, lze předpokládat vysoká životnost pásu. Varianta druhá, kdy je pás lámán ve dvou směrech, snižuje se životnost řemenu až na jednu třetinu jeho celkové životnosti. Proto, pokud to není nutné, je z hlediska životnosti lepší se tomuto konstrukčnímu řešení vyvarovat. [5]

### 3.2.4 Napínání pásu

Mechanické napínání pružinou je jedno z nejlevnějších a zároveň nejspolehlivějších řešení. Nevýhodou tohoto návrhu, je v celku složitá konstrukce napínací sestavy, kde budou integrovány pružiny.



Obr. 7 Schéma napínání pomocí pružiny [5]

## 4. Rešerše dostupných schodolezů

Schodolez je mobilní zařízení, které slouží k přepravě nákladu nebo imobilních osob, po schodištích či svahů s velkým převýšením. Schodolez je vybaven zdrojem energie v podobě nějakého elektrického akumulátoru a pomocným pohybovým ústrojím, což mohou být pásy, kola nebo jiné mechanické zařízení, které ulehčuje pohyb celého zařízení.

### 4.1 Popis možných provedení schodolezů

Schodolezy lze rozdělit do dvou základních skupin, podle typu podvozku, a to na:

- Kolové schodolezy
- Pásové schodolezy


#### 4.1.1 Kolové schodolezy

Jsou zejména určeny pro přepravu imobilních osob po jakémkoliv typu schodišť za pomoci doprovodné osoby. Pohyb po schodišti je snadný a vyváženost zařízení nijak nezatěžuje doprovodnou osobu. Schodolez lze kdykoliv zastavit pohotovostním tlačítkem stop.



**Obr. 8** Kolový schodolez [18]

Na obrázcích níže lze vidět některé z těchto zařízení spolu s technickými údaji.

Schodolez cena – Liftkar PT Outdoor 120	
	<p><b>Cena za schodolez Liftkar PT Outdoor 120 je od 51.750,- Kč včetně DPH.</b> Tento schodolez pro invalidy je zejména vhodný pro schodiště rovná, točitá, či atypická. Tyto kolečkové schodolezy jsou vybaveny pohodlným sedátkem s opěrkami. Dají se využít nejen pro jízdu na schodech, ale lze je použít i venku, například na zahradě nebo ve městě. Schodolezy liftkar zdolají bez problémů schody i svahy.</p>
<b>Schodolez cena – technické údaje</b>	
Celková váha: 34 kg Šířka sedátka: 505 mm Hloubka sedátka: 675 mm Min.prostor k vytočení: 80x90 cm Nosnost do 120 kg.	

**Obr. 9** Kolový schodolez – Liftkar PT outdoor 120 [18]

Schodolez cena – Liftkar PT Uni 130	
	<p>Kolečkový schodolez Liftkar PT Uni 130 je vhodný pro všechny invalidní vozíky, které jsou mechanické bez ohledu na jejich rozměry. <b>Cena za tento schodolez je opět převzatá z našeho bazaru -&gt; schodolezy bazar.</b> Schodolez Liftkar PT Uni 130 je velmi skladný jak v bytě, tak i ve vašem voze. S tímto schodolezem lze překonávat všechny druhy schodišť od těch rovných až po ty atypická. <b>Cena za schodolez Liftkar PT Uni 130 je od 51.750,- Kč včetně DPH</b></p>
<b>Schodolez cena – technické údaje</b>	
Celková váha: 27,6 kg Šířka spodní platformy: 760 mm Min.prostor k vytočení: 110x90 cm Nosnost do 130 kg.	

**Obr. 10** Kolový schodolez – Liftkar PT Uni 130 [18]

I když tyto schodolezy jsou uzpůsobeny ke zdolání jakéhokoliv typu schodišť, je nutná vždy asistence doprovodné osoby, která bude řídit schodolez a napomáhat pohybu celého zařízení. Bez asistence není možný pohyb zařízení.

#### 4.1.2 Pásové schodolezy

Jak je vidno z Obr. 11, tyto schodolezy nejsou vybaveny sedací částí, ale jsou uzpůsobeny pro většinu mechanických vozíků. Pásové schodolezy jsou lehce rozložitelné a to na dvě části: podvozek a kormidlo.



**Obr. 11** Pásový schodolez [18]



Výhodou těchto mobilních zařízení je velmi dobrá stabilita a tak je možné v krajních případech, zařízení obsluhovat pouze osobou přepravovanou bez pomoci asistenta, i když se vždy doporučuje dohled asistenta. Nevýhodou tohoto zařízení jsou špatné jízdní vlastnosti na točitých schodištích.

Zařízení je schopno otáčivého pohybu v určité míře, avšak konstrukce pásové jednotky pro tento pohyb není primárně konstruována. Při otáčení zařízení dochází vlivem tření pásu s vozovkou ke vzniku sil, které působí proti směru otáčení. Tyto síly mají za důsledek, možné vyzutí pásů a tím možnou provozu neschopnost

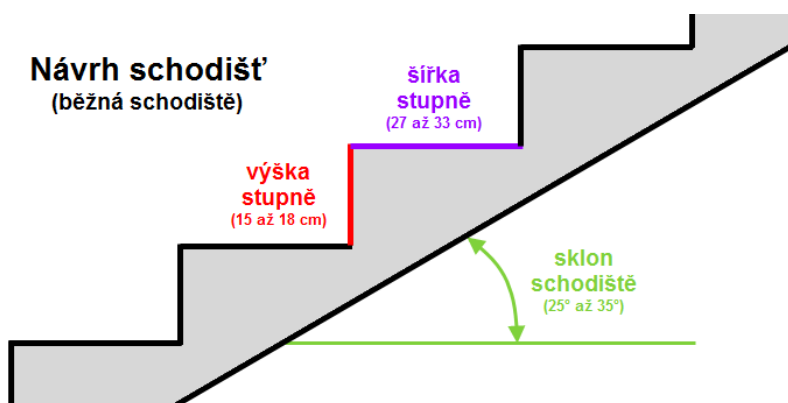
Schodolez cena – Jolly Standard	
	<p>Pásový schodolez Jolly Standard je vhodný pro všechny invalidní vozíky, které jsou mechanické a to bez ohledu na jejich rozměry. Na tyto pásové schodolezy lze připevnit i invalidní vozíky, které mají ve spodní části kovový podpůrný kříž, jenž brání použití jiných druhů schodolezů. Schodolez je určen pouze pro schodiště rovná.</p> <p><b>Cena za schodolez Jolly Standard je od 40.250,- Kč včetně DPH</b></p>
<p><b>Schodolez cena – technické údaje</b></p> <p>Celková váha: 52 kg Nosnost: do 130 kg včetně vozíku Dojezd: 50 pater na jedno nabití Min. prostor k vytočení: 98×98 cm</p>	

**Obr. 12** Pásový schodolez – Jolly Standard [18]

Průzkumu trhu ukázal mnohé dodavatele tohoto zařízení, nicméně princip a konstrukce je stále podobná. Cílem této rešerše je nalézt variantu jedinečnou, která na trhu prozatím není a bude schopna zvládnout rovná i točitá schodiště.

## 4.2 Analýza pohybu po schodištích

Nové navrhované řešení, je nutno konstrukčně navrhnout tak s ohledem na obě hlavní kritéria, kterými jsou dobrá stabilita a schopnost zdolávat točitá schodiště. Požadavky kladené na konstrukci tohoto zařízení budou detailněji rozebrány v požadavkovém listu. Na Obr.11 níže lze vidět profil schodiště a jeho základní parametry.

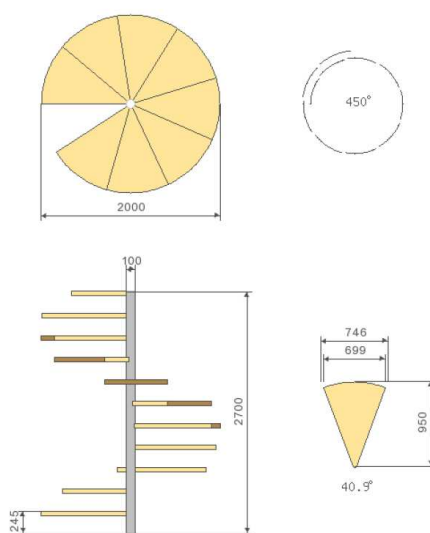


**Obr. 13** Řez přímým schodištěm



Z Obr. 13 je patrné, že výška, šířka a sklon schodiště je proměnlivý v určitých intervalech. Bude nutné tedy vyhodnotit extrémy a návrh zařízení tomuto uzpůsobit. U pásového schodolezu lze předpokládat, že proměnlivý profil schodiště nebude mít žádný zásadní vliv na chod zařízení. U kolového schodolezu, bude nutné optimalizovat průměr kola, popřípadě i rozteč či rozvor mezi koly, tak aby byly pokryty nejvíce četné varianty řešení schodišť.

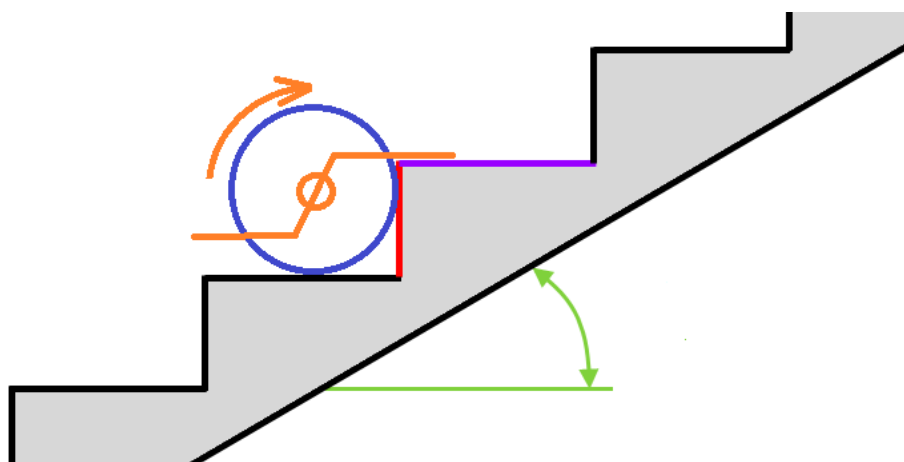
Druhý parametr pro konstrukci zařízení, je schopnost zdolávat točitá schodiště. Tyto schodiště mají specifický tvar, tím je myšleno, že styková plocha mezi zařízením a schodištěm, není vždy obdélníkového tvaru. Jedná se o kruhovou výseč, kdy podstatným parametrem bude poloměr zaoblení schodiště.



Obr. 14 Řez točitým schodištěm

#### 4.2.1 Analýza pohybu kolového schodolezu

Na Obr. 13 je schematicky zobrazena kolová varianta provedení schodolezu, která je nerozšířenější. Tento schodolez je vybaven dvěma koly a zvedacím zařízením, které umožní jednoduše zdolat požadovanou překážku.



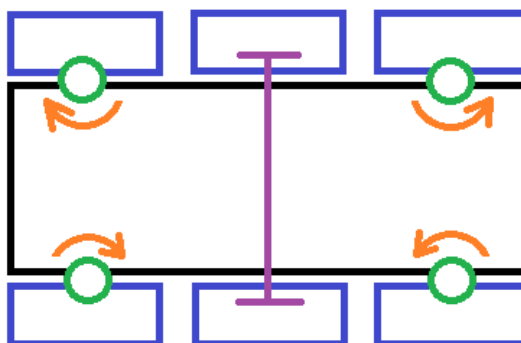
**Obr. 15** Analýza pohybu kolového schodolezu

Princip tohoto zařízení spočívá v rotaci oranžového prvku, který vyzdvihuje zařízení „step by step“. Toto pákové zařízení napomáhá kolu překonat výši schodu. Při chodu zařízení je nutná asistence, která bude napomáhat pohybu vzhůru či dolů.

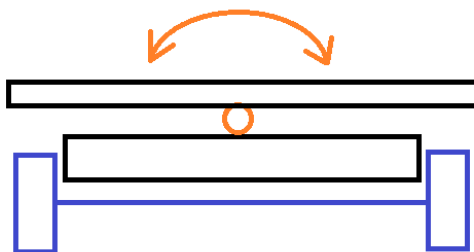
Jízdní komfort zařízení je oproti pásové variantě horší, pohyb je přerušovaný a dochází k rázům, což nemusí mít dobrý vliv na přepravovanou osobu. Rychlost těchto zařízení je do 4km/h. S rostoucí rychlostí, se snižuje jízdní komfort u kolečkového schodolezu.

Výhodou toho zařízení je dobrá schopnost zdolávat točité schodiště a relativně malý půdorys zařízení, který umožňuje lepší jízdní a manipulační vlastnosti ve stísněných prostorech.

Na základě průzkumu trhu, kde bylo zjištěno, jak dané varianty jsou konstrukčně řešeny, je možné navrhnout nový koncept podvozku zařízení kolečkového schodolezu. Cílem tohoto konstrukčního záměru je zhotovit podvozek, který bude schopen kopírovat profil schodiště a bude mít lepší stabilitu jak je tomu doposud.

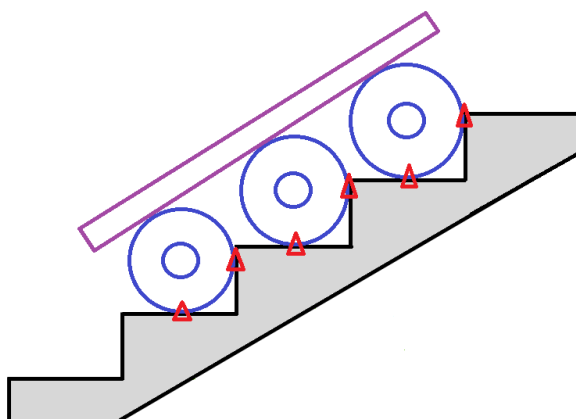


**Obr. 16** Třínápravový lokomoční systém



**Obr. 17** Třínápravový lokomoční systém

Na Obr. 17 je znázorněna možná komfortní funkce podvozku, která zabezpečuje správnou polohu těžiště celého systému v průběhu jízdy ve všech definovaných stavech.

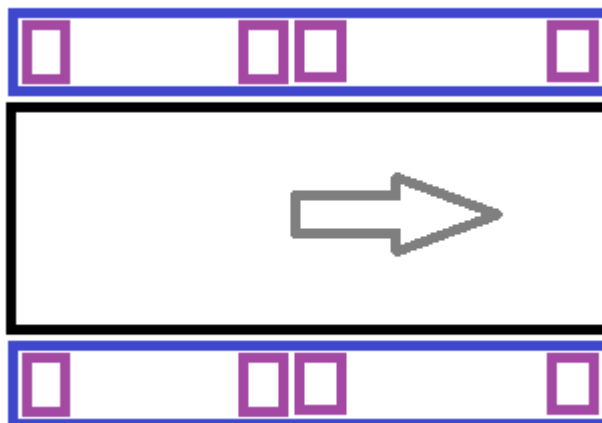


**Obr. 18** Bokorys kolového lokomočního ústrojí – dotykové body

V průběhu pohybu je nutné, aby celý subsystém měl co nejvíce bodů v kontaktu s vozovkou, z důvodu stability celého zařízení.

#### 4.2.2 Analýza pohybu pásového schodolezu

Taktéž pásových variant je na trhu přítomno mnoho. Základní a velmi rozšířené konstrukční řešení se skládá z pásového podvozku a takzvaného kormidla. Toto řešení je velmi robustní a spolehlivé co se týká pohybu po rovných schodištích. Bohužel pás a podvozek není konstrukčně navržen pro pohyb po točitém schodišti.

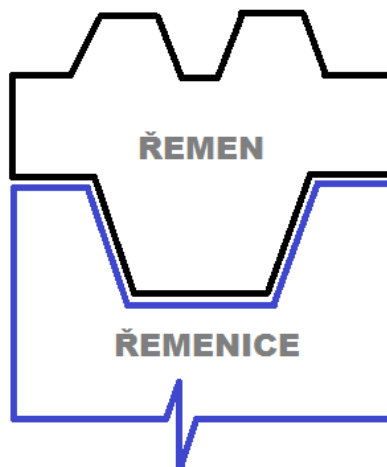


**Obr. 19** Půdorys pásového lokomočního ústrojí

Na Obr. 19 výše je zobrazen schematicky půdorys pásového provedení podvozku. Šipka naznačuje směr pohybu zařízení. Modrý je pás, uvnitř kterého se nacházejí fialová hnací a hnaná kola či řemenice. Otáčení celého subsystému je zprostředkováno rozdílnou rychlostí vnitřního a vnějšího pásu v závislosti na směru otáčení.

Důležité parametry pro správnou funkci zařízení jsou:

- Správná konstrukce pásu

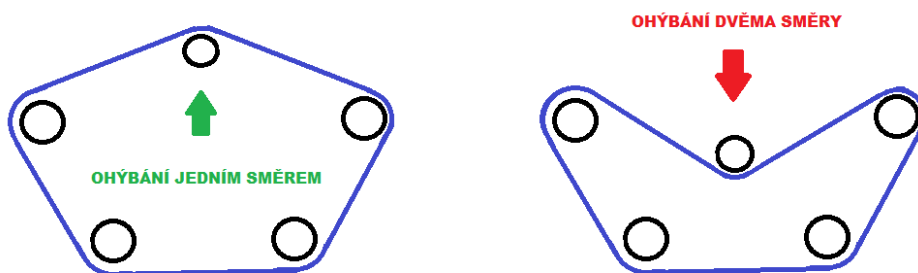


**Obr. 20** Řez profilem řemenice a pásu (řemenu) [5]

Pás jako takový může být článkový nebo celistvý, zde bude záležet na výrobních možnostech a množství produkce. Důležitým faktorem je tvar pásu. Ten by měl být

takový, abychom byli schopni za pomoci tvaru, zachytit boční síly vznikající vlivem tření pásu o vozovku. [5]

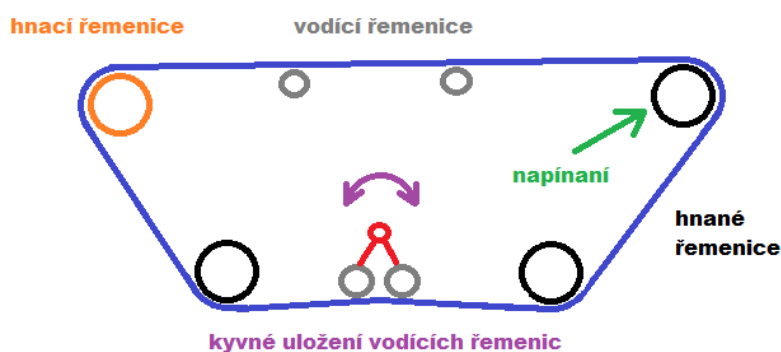
Jestliže se bude jednat o článkový pás, nehraje žádnou roli, jakým směrem bude docházet k napínání pásu. Pokud však pás bude obdobou řemene, je nutné tento faktor vzít v úvahu, jelikož špatné napínání vede ke snížení životnosti pásu. [5]



**Obr. 21** Druhy možného napínání pásové jednotky [5]

Na Obr. 21 je znázorněno schéma dvou druhů napínání pásové jednotky. V případě, že pásová jednotka bude tvořena speciálním řemenem, nedoporučuje se použít variantu napínání dvěma směry, z důvodu snížení životnosti pásu.

- Správná konstrukce hnací a hnaných kol podvozku
- Správné napínání pásu



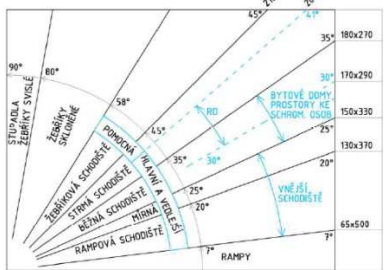
**Obr. 22** Schéma možného provedení pásové jednotky [5]

Na Obr. 22 lze vidět schéma možného provedení pásového podvozku. Konečná konstrukce se může v důsledku zástavby prostor mírně pozměnit, ale hlavní parametry musí zůstat stejné.

Každý ze zmiňovaných bodů výše je velmi důležitý a má vliv buď na samotnou funkci zařízení, nebo ovlivňuje jeho životnost a spolehlivost. Je nutné všechny tyto parametry zohlednit v budoucím návrhu pásové jednotky schodolezu.

## 5. Požadavkový list

Požadavkový list	
Konstrukční návrh Schodolezu s pohybem po rovných i točitých schodech	
Druh provedení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolový</li> <li>• Pásový</li> </ul>
Způsob užívání	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outdoor</li> <li>• Indoor</li> </ul> <p>Převážně k překonávání schodišť.</p>
Operační a pracovní prostředí	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outdoor (venkovní) <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Kluzké (v krajním případě namrzlé)</li> <li>❖ Drsné</li> <li>❖ Nerovnoměrné</li> <li>❖ Točité</li> <li>❖ Strmé povrchy</li> <li>❖ Vlhké či mokré</li> <li>❖ Prašné prostředí</li> </ul> </li> <li>• Indoor (vnitřní) <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Kluzké (linoleum)</li> <li>❖ Statická elektřina (koberec)</li> <li>❖ Dveřní prahy</li> <li>❖ Schody</li> <li>❖ Úzké prostory (chodby)</li> </ul> </li> </ul>
Technický scénář	Návrh nového řešení schodolezu, umožňující pohyb po rovných i točitých schodištích.
Hlavní funkce zařízení	Pomoc při přepravě imobilních osob přes točité, přímé schodiště.
Specifikace schodiště (sklon)	<p>Návrh schodišť se specifikován normou ČSN 73 4130 Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky (2010)</p> <p>Schodolez bude primárně navržen na běžná schodiště, umístěné v bytových prostorech či vnějších prostorech.</p>

	<p> <b>- 25° až 35°</b>  v bytových domech a uvnitř prostorů ke shromažďování osob    <b>- max. 35°</b>  v rodinných domech a uvnitř bytů    <b>- max. 41°</b>  v rodinných domech a uvnitř bytů s k-ční výškou do 3,0 m </p>  <p>U schodišť se řeší tzv. šířka ramene, ta je normalizovaná pro určité druhy konstrukcí. Minimální poloměr točitého schodiště bude určen z provedeného konstrukčního řešení schodolezu.</p>
Základní požadavky na konstrukci	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nosnost zařízení 150 kg.</li> <li>Rychlost 18 schod/min, překonání všech známých druhů a typů schodů.</li> <li>Maximální rychlost však 4kmh<sup>-1</sup></li> <li>Průjezdná šířka podvozku 800mm (závislá na konceptu řešení)</li> <li>Skladné řešení</li> <li>Stabilní provedení podvozku</li> </ul>
<b>Požadavky na provedení Schodolezu</b>	
Identifikační údaje	<p>Provést benchmark u stávajících zařízení. Zjistit jednotlivé výhody/nevýhody a jejich možnou kombinací docílit jedinečného a nejlepšího návrhu schodolezu.</p>
Návrh řešení	<p>Zhotovení jednoduchého konceptu řešení schodolezu pomocí:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pásové jednotky</li> <li>kolové jednotky</li> </ul> <p>Následné porovnání a zhodnocení jednotlivých variant, sepsání plusů a mínusů. Pomocí morfologické matice rozhodnout o finálním řešení, které se bude detailněji zpracovávat.</p>
Technické parametry	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zaručená stabilita</li> <li>Nízké provozní náklady</li> <li>Spolehlivost a bezpečnost zařízení</li> <li>Nízká hmotnost</li> <li>Skladné řešení (v krajním případě uložení do zavazadlového prostoru)</li> <li>Lehká ovladatelnost zařízení</li> <li>Možnosti zachycení vozíku pro</li> </ul>



	<p>hendikepované konstrukce schodolezunebo umístit sedací část do konstrukce zařízení.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Odolnost vůči vodě a prachu ( IPXX )</li> <li>• Ergonomické řešení</li> <li>• Jednoduché dobíjení akumulátorů</li> </ul>
	<p>Zvolené materiály pro konstrukci zařízení se budou odvíjet od požadovaných mechanických vlastností zařízení, které jsou definovány celkovou nosností zařízení a jeho zvolenou bezpečností.</p> <p>Hliníkový rám spolu s krytováním (profily je nutno volit dle dostupnosti na trhu)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Části přenášející zatížení, zhotovit z oceli, zde je otázkou, jestli bude vhodné zvolit nerezovou ocel, nebo ocel legovanou a následně tuto ocel opatřit povlakem proti případné korozi.</li> <li>• Kontaktní části, jako jsou různé madla a úchopy budou zhotoveny z plastového nebo gumového materiálu</li> <li>• U kolového nebo pásového podvozku je nutné zvolit materiály tak, aby byla spolehlivost zařízení co nejlepší (pryžová bezdušová kola nebo pryžový pás s uhlíkovými vlákny, kde je velmi důležité vedení a napínání pásu)</li> <li>• Sedací část, zhotovena v závislosti na komfortu jízdy, potah z materiálu odolnému silnému znečištění</li> </ul>
Provoz robotu	<p>Pohon zařízení bude zajišťovat elektromotor s převodovkou, který bude dimenzován na námi definované provozní zatížení. Z hlediska bezpečnosti bude toto zatížení několika násobně navýšeno a bude porovnán poměr cena/bezpečnost.</p> <p>Ovládání schodolezu bude pomocí řídicího panelu, podobný, který je u standardních vozíků pro hendikepované. Při návrhu je nutné klást velký důraz na ergonomii celého zařízení z důvodu užívání zařízení osobami tělesně imobilními.</p>
Vzhled	<p>Povrch/vzhled zařízení dle standardů, nátěr RAL XXXX.</p>
Předpisy a normy (bezpečnost)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bez porušení patentových práv</li> <li>• Dodržení všech bezpečnostních předpisů spojených s konstrukcí pásových jednotek.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konstrukce a předpisy pro zařízení pro tělesně hendikepované</li><li>• Prohlášení o shodě (CE)</li></ul>
Výroba	<ul style="list-style-type: none"><li>• Prototyp</li><li>• Kusová výroba</li><li>• Malá série</li></ul>

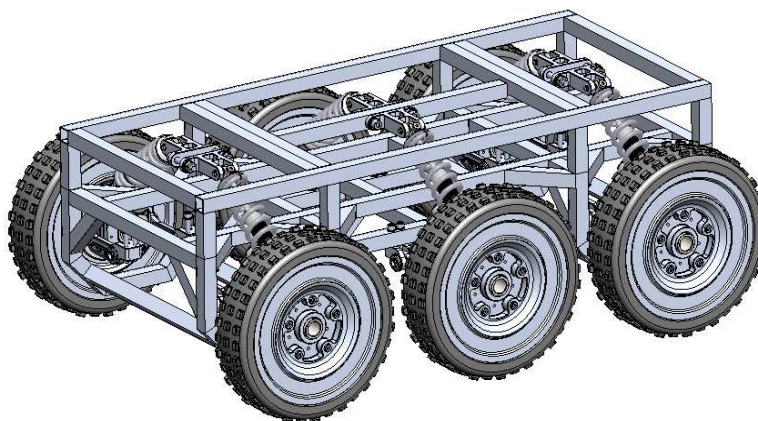
**Tab. 1** Požadavkový list

Požadavkový list byl zpracován na základě doposud známých parametrů obdobných servisních robotů, zkušeností s konstrukcí obdobných zařízení a v poslední řadě, z požadavků vyplývajících na konstrukci, která umožní zdolat jak přímé tak točité schodiště. [5, 15]

## 6. Varianty řešení

### 6.1 Varianta lokomočního ústrojí kolo

Navrhovaná varianta lokomočního ústrojí s využitím kol, uvažuje s řešením třínápravového systému. Přední a zadní náprava je vybavena dvěma motory, kde každý z motorů pohání jedno kolo. Všechny nápravy jsou samostatně odpružené. Sedací část zařízení je uchycena k rámu, je znázorněna pouze ilustrativně, ale není cílem této práce.



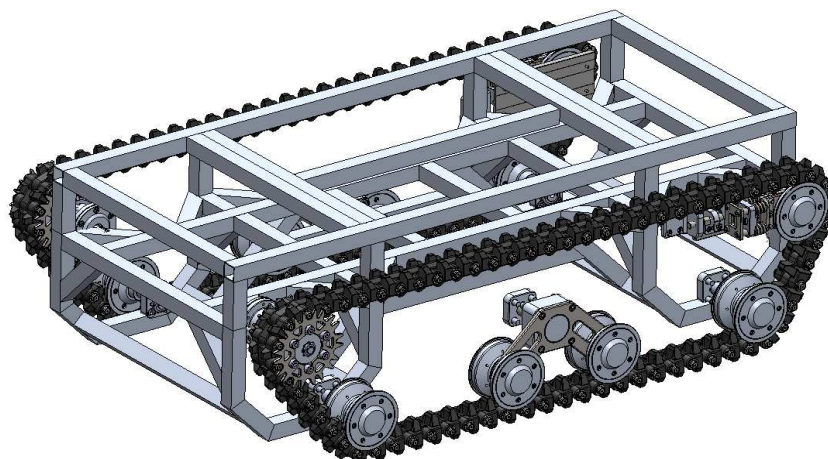
**Obr. 23** Schéma možného provedení kolového lokomočního ústrojí

Princip pohybu zařízení spočívá v překonání hrany schodu, kolo najede na rovnou část schodu a při kontaktu s přímou kontaktní plochou schodu, je pneumatika opatřena výstupky, které napomůžou překonat hranu schodu. Konstrukční záměr tohoto systému je uzpůsoben tak, že je možné doplnit motory na střední nápravu, pokud to bude nutné z hlediska zajištění funkce zařízení.

Zařízení je navrženo tak, že je schopno zdolat jak přímé, tak i točité schody. Dalším parametrem zařízení je maximální šířka zařízení, tak aby bylo možno projet dveřmi.

## 6.2 Varianta lokomočního ústrojí pás

Varianta provedení lokomočního ústrojí s pásem je navržena obdobně, jako tomu je standardních pásových schodolezů s rozdílem uchycením sedací části. Tato je uchycena k rámu zařízení. U standardních schodolezů, je sedací část realizovaná upínacím zařízením, kde se přepravovaná osoba zajistí. Lokomoční ústrojí je opatřeno dvěma pásovými jednotkami, kdy každá z nich má hnací, hnanou řemenici a vodící řemenice. Nutnou součástí tohoto lokomočního je napínání pásu.



**Obr. 24** Schéma možného provedení pásového lokomočního ústrojí [5]

Pohyb po schodech přímých je realizován nájezdem přední části lokomočního ústrojí na hranu schodu. Poté celé zařízení pokračuje v jízdě po hranách schodů. Otáčení zařízení je realizováno rozdílnou rychlostí jednotlivých pásových jednotek, tzv. přibrždováním jedné z nich v závislosti na nutném pohybu. Manévrovací schopnosti jsou omezenější, než je tomu u lokomočního ústrojí realizovaného koly. Možným problémem je samotné otáčení, kdy vlivem velké stykové plochy mezi pásem a vozovkou, dochází ke vzniku velkých třecích sil, které mají důsledek možného zouvání pásové jednotky. Toto musí být konstrukčně vyřešeno jak na řemenici, tak na samotném pásu, tvarovým stykem.

## 7. Vícekriteriální analýza

Pro zvolení nejvýhodnější varianty byla použita vícekriteriální analýza. Porovnání kritérií uvedených v požadavkovém listu a následné přiřazení důležitosti a váhy k jednotlivým kritériím. Varianta, která získá největší sumu bodů, je označena za nejvýhodnější.

### 7.1 Kritéria rozhodování

Pro zvolení nejvýhodnější varianty bylo určeno osm kritérií k1 – k8. Kritéria jsou uvedeny v tab. 2 níže.

k1	Spolehlivost konstrukce
k2	Jízdní komfort
k3	Cena výroby
k4	Životnost
k5	Stabilita
k6	Hmotnost
k7	Bezpečnost
k8	Provozní náklady

n	8
---	---

**Tab. 2** Rozhodovací kritéria

### 7.2 Stupnice hodnocení jednotlivých kritérií

Hodnota jednotlivých kritérií byla zvolena vzestupně, kdy nejvyšší číslo přísluší nejvýhodnější variantě řešení.

<b>Hodnocení</b>	stupeň	známka
	výborné	4
	chválytebné	3
	dobré	2
	nevyhovující	1

**Tab. 3** Hodnoty kritérií

### 7.3 Ohodnocení kritérií

Jednotlivé kritéria byla ohodnocena u varianty provedení lokomočního ústrojí pásové i kolové jednotky. Hodnota kritéria náleží hodnotě viz Tab. 3

#	Kritérium	Kolo	Pás
k1	Spolehlivost konstrukce	3	2
k2	Jízdní komfort	2	3
k3	Cena výroby	3	2
k4	Životnost	4	2
k5	Stabilita	3	4
k6	Hmotnost	3	1
k7	Bezpečnost	3	3
k8	Provozní náklady	3	2

Tab. 4 Ohodnocení variant

### 7.4 Váha významnosti jednotlivých kritérií

Pomocí trojúhelníkové metody byly zhodnoceny jednotlivé parametry vůči sobě. Na základě počtu voleb kritérií byla určena váha jednotlivých kritérií..

Porovnávané páry kritérií							kritérium	počet voleb	váha kritéria
k1	k1	k1	k1	k1	k1	k1	1	5	0,18
k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	2	4	0,14
	k2	k2	k2	k2	k2	k2	3	2	0,07
	k3	k4	k5	k6	k7	k8	4	3	0,11
		k3	k3	k3	k3	k3	5	6	0,21
		k4	k5	k6	k7	k8	6	1	0,04
			k4	k4	k4	k4	7	7	0,25
			k5	k6	k7	k8	8	0	0,00
				k5	k5	k5			
				k6	k7	k8			
					k6	k6			
					k7	k8			
						k7			
						k8			

Tab. 5 Trojúhelníková metoda

## 7.5 Výsledky hodnotové analýzy

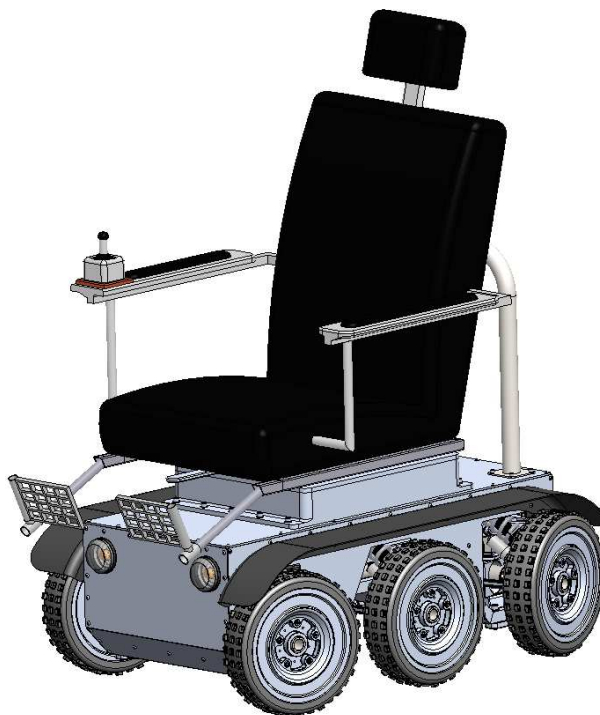
#	Kritérium	Kolo	Pás
k1	Spolehlivost konstrukce	0,54	0,36
k2	Jízdní komfort	0,29	0,43
k3	Cena výroby	0,21	0,14
k4	Životnost	0,43	0,21
k5	Stabilita	0,64	0,86
k6	Hmotnost	0,11	0,04
k7	Bezpečnost	0,75	0,75
k8	Provozní náklady	0,00	0,00
výsledek		2,96	2,79
pořadí		1	2

**Tab. 6** Vyhodnocení variant

Nejvýhodnější varianta na základě výsledku hodnotové analýzy je varianta provedení lokomočního ústrojí za pomoci kol, která je zaznačena zeleně. Tato varianta bude v následujících krocích řešena detailněji, jak z hlediska konstrukce, tak i ceny a dalších jiných požadavků.

## 8. Detailní řešení zvolené varianty

Na základě hodnotové analýzy byla zvolena k detailnímu řešení kolová varianta, konkrétně varianta tří nápravová s dvěma hnacími nápravami (přední a zadní) a jednou hnanou nápravou (střední). Každé kolo náprav je samostatně odpruženo pomocí pneumatického tlumiče. Obě kola přední i zadní nápravy jsou samostatně hnané elektromotory.



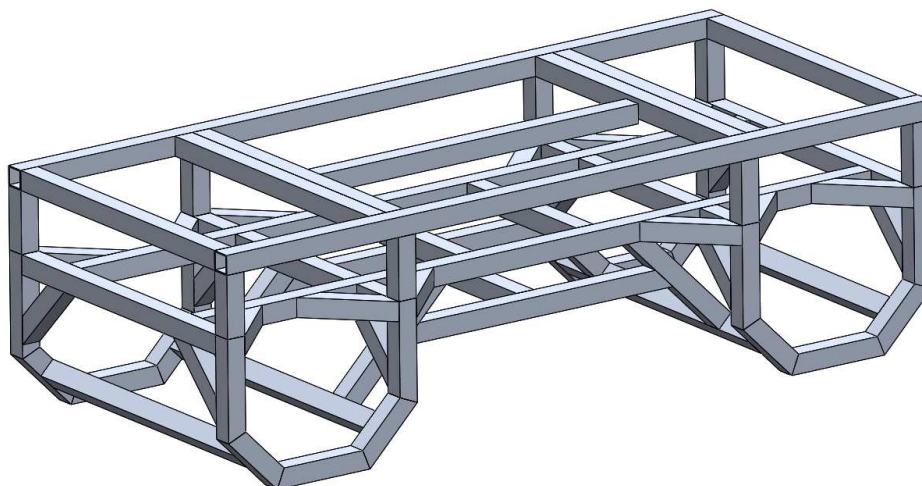
**Obr. 25** Detailní varianta kolového schodolezu

V diplomové práci je řešena problematika jízdy po přímých tak točitých schodištích. S tím spojené konstrukční řešení. Konstrukční řešení obsahuje mechanickou konstrukci podvozku robotu spolu se subsystémem pro uchycení sedací části. Ta není předmětem práce.

### 8.1 Rám

Hlavním nosným prvkem celé konstrukce je tuhý svařovaný rám. Pro tuto danou aplikaci byly zvoleny profily jekl 30 x 30 x 2.0mm.





Obr. 26 Svařovaný rám

Konkrétním materiálem byl zvolen hliník a to z důvodu úspory hmotnosti. Svařování hliníku není nikterak náročnější jako je tomu u klasických ocelí a v konečném důsledku je možné dosáhnout nižší hmotnosti a s tím i menší provozní náklady.



Al hliníkový jelek čtvercový

Rozměr (A x B x S):  
30 x 30 x 2,0 mm

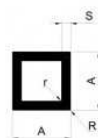
Délka: 6000 mm

Chemické složení: AlMgSi 0,5

Norma: EN AW-6060 T66

Hmotnost: 3,63 kg/ks

Expedujeme celé tyče a dělíme profily na délky dle Vašich požadavků.



Obr. 27 Hliníkový profil jelek [13]

Mechanické vlastnosti podle DIN1748 část 1 (průtláčně lisované profily)

	Tloušťka mm	Pevnost v tahu N/mm <sup>2</sup>	0,2% mez kluzu N/mm <sup>2</sup>	Tažnost <sup>1)</sup>		Tvrdost HB <sup>1)</sup>
				A <sub>5</sub>	A <sub>10</sub>	
EN AW-6060 T6 (AlMgSi0,5 F22)	iedere	≥215	≥160	≥12	≥10	70

Obr. 28 Mechanické vlastnosti EN AW-6060 T6 [3]

## 8.2 Přední a zadní náprava

Konstrukce přední a zadní nápravy lokomočního ústrojí tohoto robotu je naprosto identická. Zvolené materiály jsou převážně hliník EN AW-6060 T6, který již byl použit na rám tohoto zařízení. Pro zvýšení tvrdosti povrchu, se následně aplikuje u některých součástí tvrdý Elox.

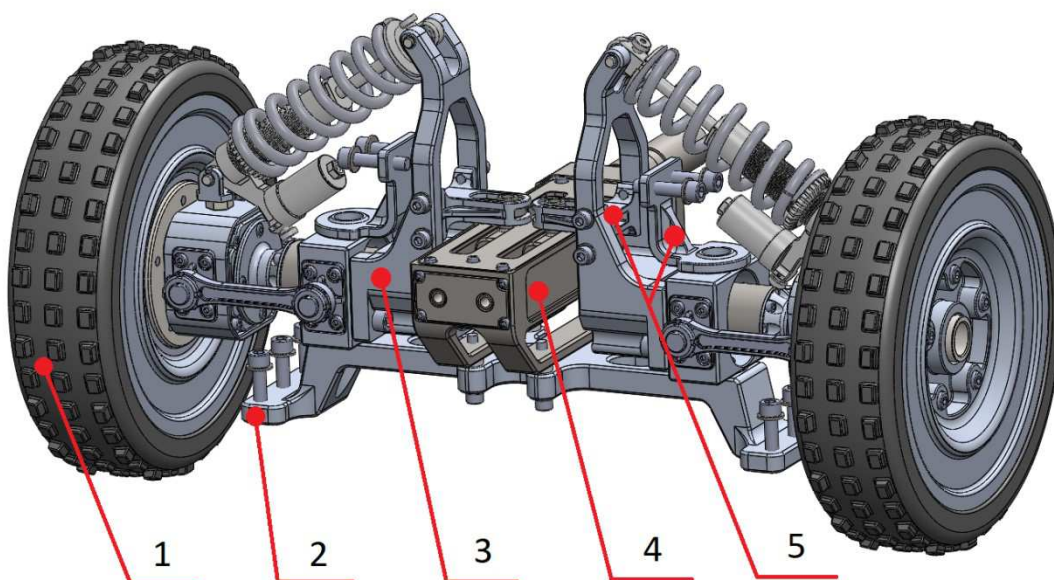
Dalším použitým materiálem je ocel s označením ČSN 12 050.1 (nebo ekvivalentní označení C45), která se následně povrchově zušlechťí. [13]

Mechanické vlastnosti dle ČSN 41 20 50

			12 050.1
Mez kluzu	<b>R<sub>p0,2</sub></b>	MPa	min. 325
Mez pevnosti	<b>R<sub>m</sub></b>	MPa	min. 540
Tažnost	<b>A<sub>5</sub></b>	%	min 17
Tvrdost		HB	max 225
Kontrakce	<b>Z</b>	%	
Modul pružnosti v tahu	<b>E</b>	GPa	211
Modul pružnosti ve smyku	<b>G</b>	GPa	79

Obr. 29 Mechanické vlastnosti ČSN 12 050.1 [13]

Konstrukční záměr přední nápravy:

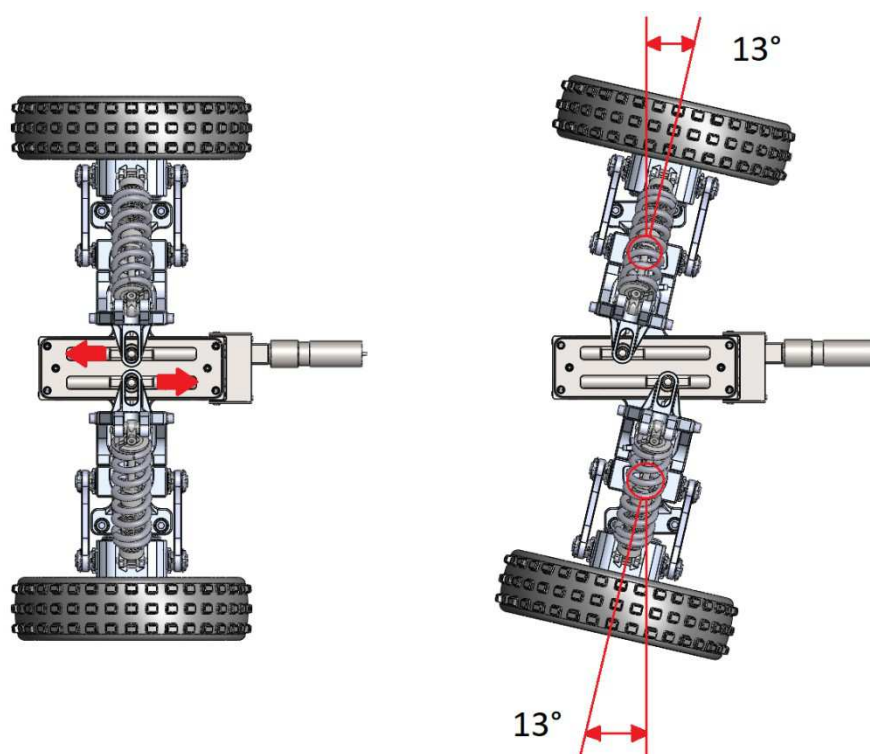


Obr. 30 Přední náprava

1	Hnací kolo
2	Rameno 02
3	Kyvka
4	Řízení
5	Konzole

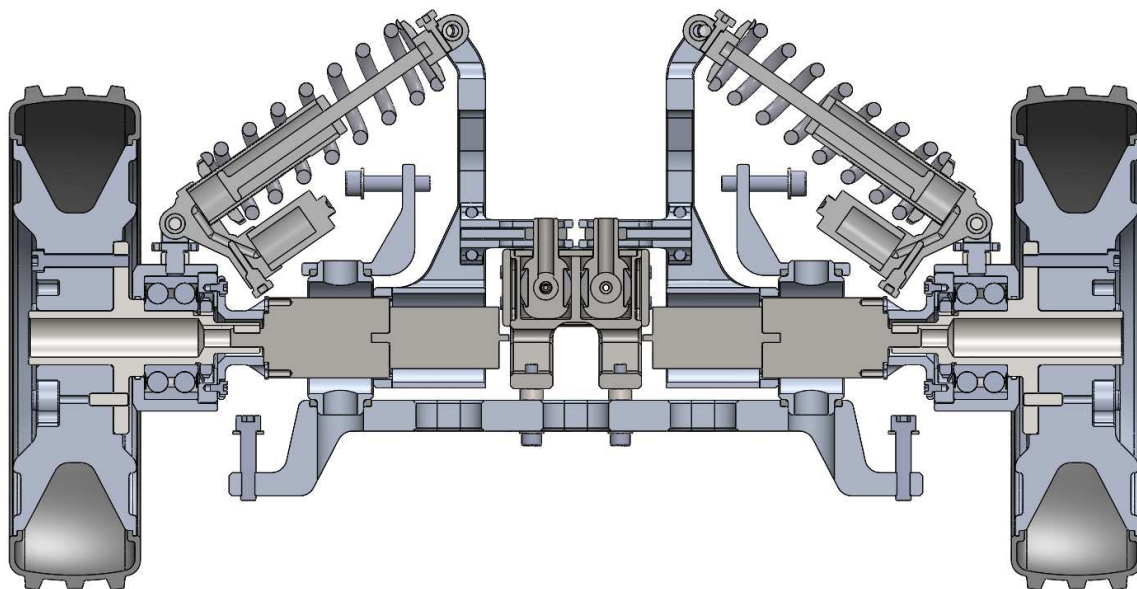
**Tab. 7** Legenda podsestav přední nápravy

Každé hnací kolo nápravy je samostatně hnané za pomoci elektromotoru a odpružení jednotlivých kol zajišťují pneumatické tlumiče. Natáčení hnacích kol zajišťuje řízení, které umožní na točení o  $13^\circ$ , což konečném důsledku umožní otočení celého robotu po rádiuse 1500mm.

**Obr. 31** Mezní rotace přední nápravy

Střední část přední nápravy, tzv. řízení je mechanismus dvou trapézových šroubů, jeden s pravým a druhý s levým závitem, které jsou roztáčeny řemenovým převodem (modrá barva) za pomoci elektromotoru. Na trapézových šroubech jsou uloženy kulisy, které se pohybují symetricky od osy nápravy. Trapézové šrouby jsou uloženy v domečku na standardních kuličkových ložiscích s kosoúhlým stykem ( SKF 7301 BEP [10] ).

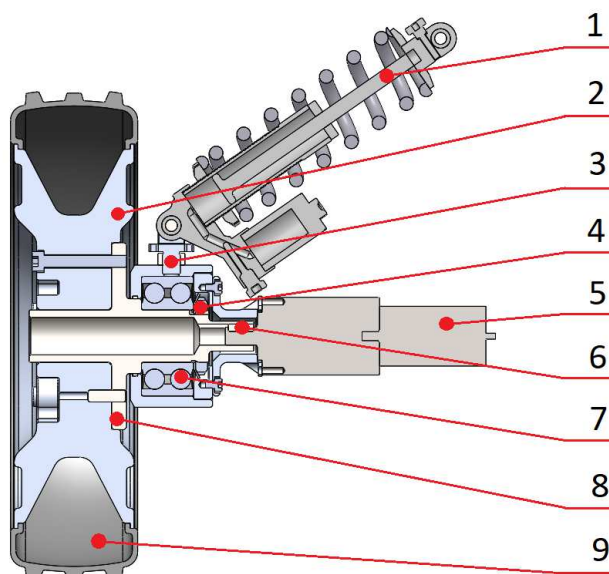
Přední i zadní náprava, její levá a pravá část je symetrická vůči středové rovině celého zařízení. V následujícím Obr. 32 bude popsán princip uložení sestavy hnací nápravy lokomočního ústrojí.



**Obr. 32** Řez přední nápravou

### 8.2.1 Hnací kolo

Hnací kolo je hlavním hnacím prvkem celého lokomočního ústrojí, je uchyceno přes konzole a rameno 02 k rámu celého robota za pomoci několika vysoko pevnostních nerezových šroubů.



**Obr. 33** Řez hnacím kolem

1	Tlumič Fox Vanilla RC
2	Řemenice hnací
3	Šroub
4	KM matice, MB podložka
5	Motor a převodovka
6	Pero těsné
7	Ložisko 3307 A-2RS1TN9 MT33
8	Hřídel 01
9	Pneumatika

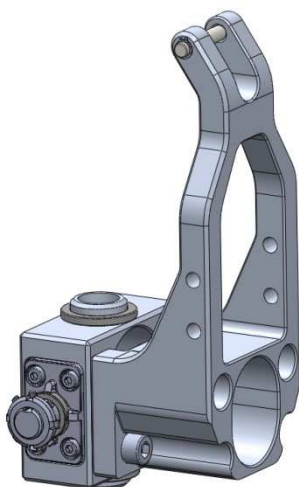
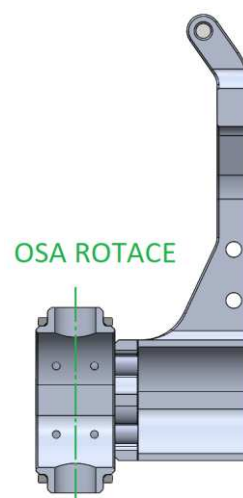
**Tab. 8** Legenda dílů hnacího kola

Hřídel 01 je hlavním nosným prvkem celého systému, který zároveň přenáší výstupní moment z elektromotoru, přes tuto hřídel až na pneumatiku skrz řemenici. V domečku je uloženo dvouřadé kuličkové ložisko, které slouží jako nosný prvek pro uložení hřídele 01, na kterou uchycena řemenice několika šrouby. Pro lepší zajištění řemenice jsou kolíky, které zajišťují správnou funkci, kdyby došlo k uvolnění šroubových spojů.

K domečku je uchycen tlumič za pomoci šroubu, ten umožňuje odpružení hnacího kola. Dále je k domečku uchyceno víko, ke kterému je přišroubovaný elektromotor, který skrz spojku přenáší krouticí moment přímo na hnací řemenici. Hnací kolo je uchyceno pomocí táhel ke kyvce.

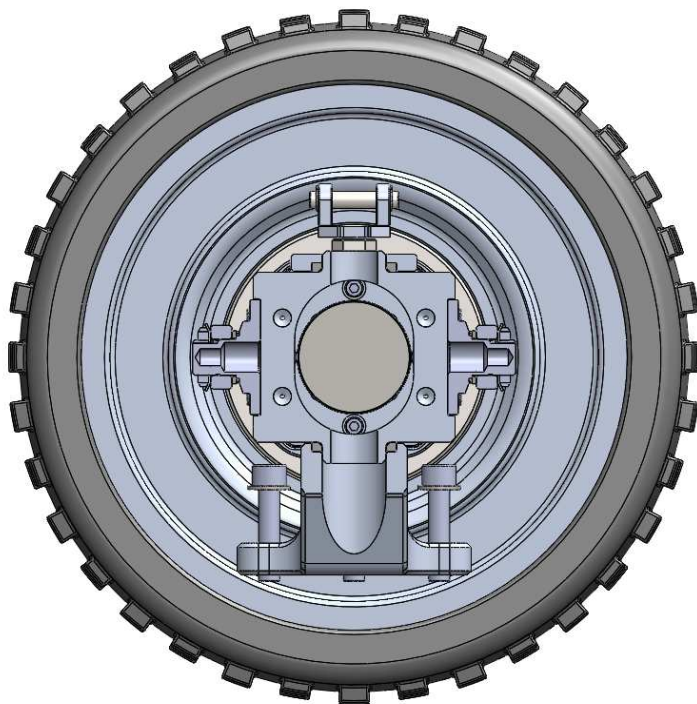
### 8.2.2 Kyvka

Kyvka je upevněna k domečku pomocí táhel. Její hlavní funkcí je schopnost natočení hnací řemenice o požadovaný úhel  $13^\circ$ , tím je umožněno pohybu otáčivého po maximálním poloměru 1500 mm.

**Obr. 34** Kyvka**Obr. 35** Řez Kyvkou



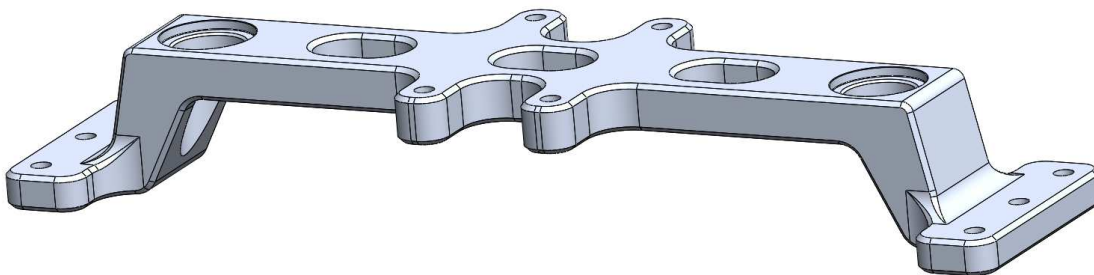
Kyvka je přes osu rotace uchycena k ramenu a konzoly, následně přišroubována k rámu robotu. Vnitřní profil slouží jako kryt motoru. S hlediska úspory hmotnosti jsou veškeré díly frézovány ze slitiny hliníku EN AW 6060 T6.



**Obr. 36** Řez a uložení kyvky ke kolu

### 8.2.3 Rameno

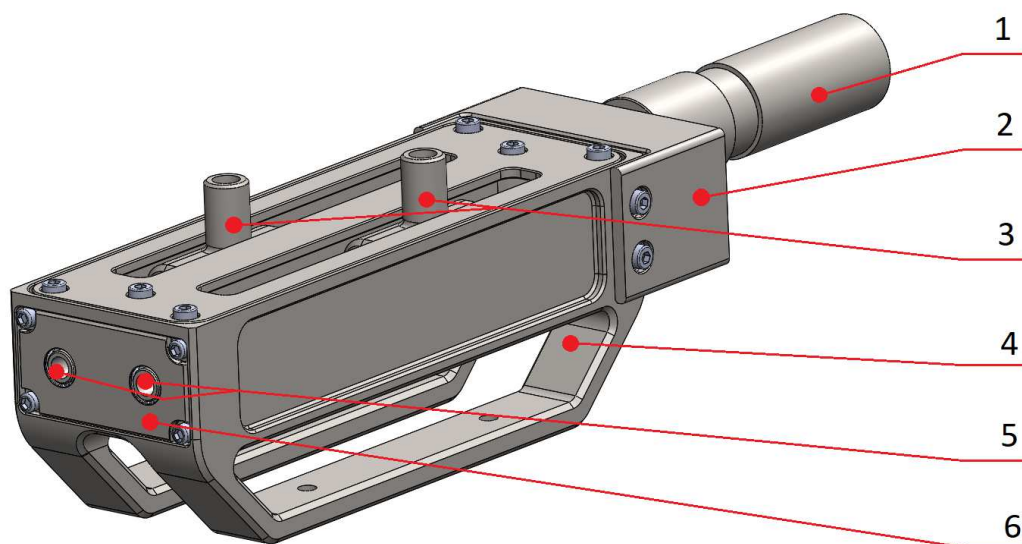
Rameno je hlavním nosním prvkem přední i zadní nápravy. Rameno je uchyceno k rámu celé konstrukce. S hlediska úspory materiálu je zhotoveno ze slitiny hliníku EN AW 6060 T6. Design této součásti je velmi robustní, je zde značný prostor k optimalizaci.



**Obr. 37** Rameno

### 8.2.4 Řízení

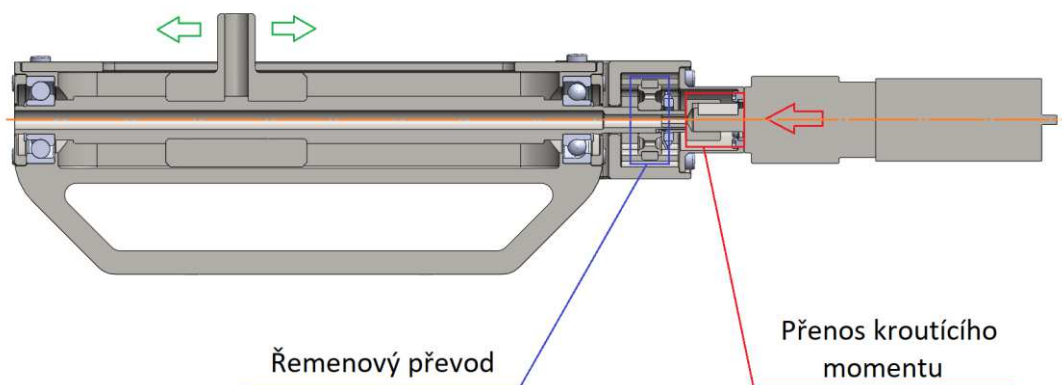
Konstrukční sestava řízení slouží k natočení hnacích řemenic do požadované polohy, kterou je možné docílit natočení pro zdolání poloměru otáčení.



**Obr. 38** Řízení

1	Elektromotor
2	Domeček s řemenovým převodem
3	Kulisy
4	Domeček
5	Trapézový šroub
6	Víko

**Tab. 9** Legenda dílů řízení

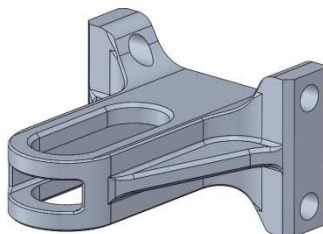


**Obr. 39** Řez řízením

Roztočením motoru, se krouticí moment přenesse přes řemenový převod na jednotlivé trapézové šrouby stejným poměrem. Tyto trapézové šrouby jsou uloženy v domečku na kuličkových jednořadých ložiscích s kosoúhlým stykem. Jakmile se roztočí jednotlivé trapézové šrouby (jeden levochodý, druhý pravochoď), kulisy které jsou na trapézových šroubech, se začnou pohybovat rovnoměrně od středové osy domečku, každá jedním směrem. Kulisy jsou ve styku s domečkem skrze plastové kluzné ložisko.

### 8.2.5 Konzoly

Poslední součástmi náprav jsou tzv. konzole, které zajistí uchycení kyvné části přes ložiska k rámu robotu a tím je zajištěna potřebná rotace nápravy.



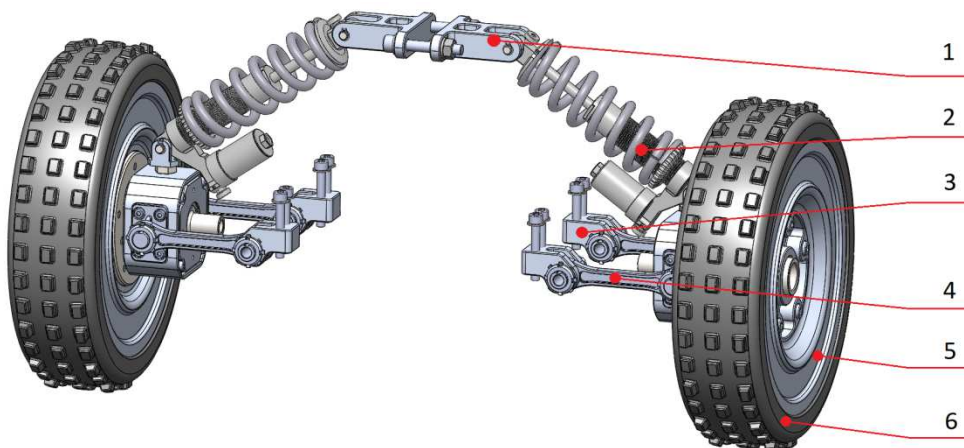
Obr. 40 Konzole 01



Obr. 41 Konzole 02

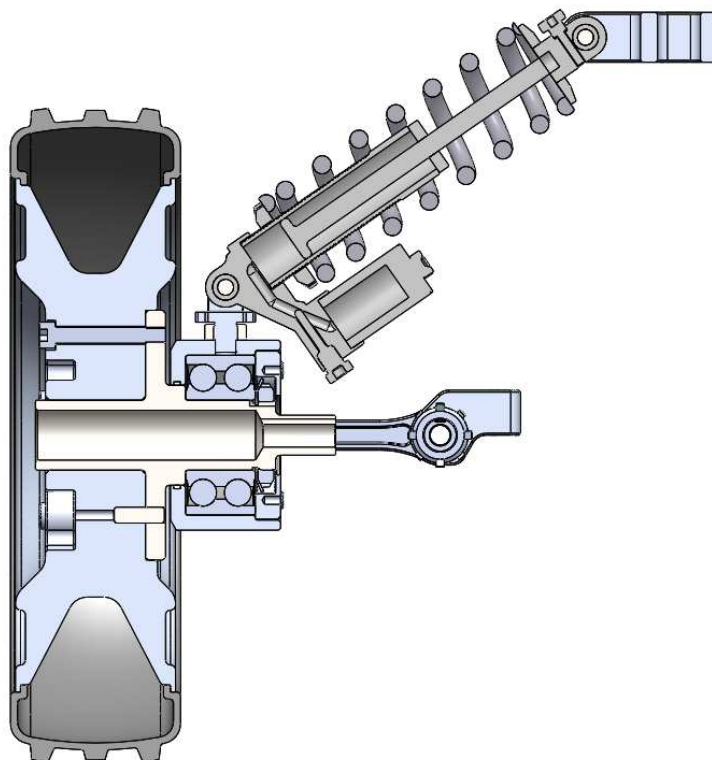
## 8.3 Střední náprava

Střední náprava na rozdíl od přední a zadní není hnaná pomocí elektromotoru. Hlavním cílem této nápravy je zlepšení stability celého lokomočního ústrojí. Nicméně tato náprava má možnost doplnění o hnací člen v případě, že by po testovací fázi bylo nutné jej doplnit.



Obr. 42 Střední náprava





**Obr. 43** Řez střední náprava

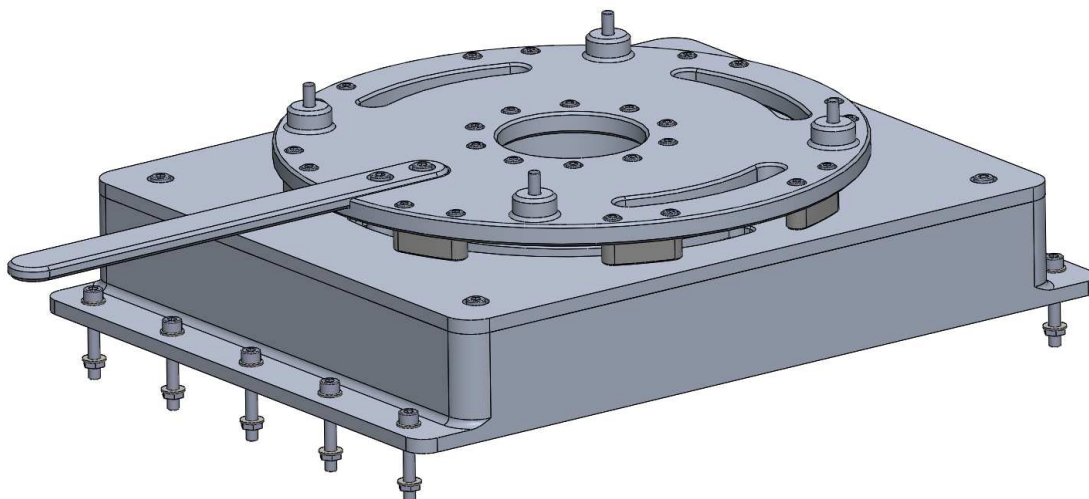
1	Konzole 04
2	Tlumič
3	Konzole 02
4	Táhlo
5	Řemenice hnaná
6	Pneumatika

**Tab. 10** Legenda dílů střední nápravy

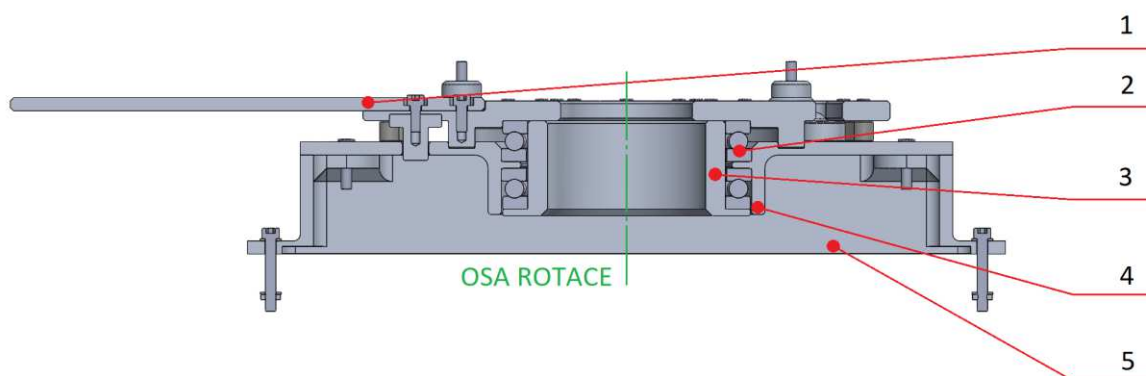
V řezu střední nápravy je vidno, že konstrukce je obdobná, jako tomu je u nápravy přední a zadní. Skrz konzoly 02 a konzoly 04 je tato náprava uchycena k rámu robotu.

## 8.4 Točna

Točna je jeden z interface, který je uchycen k rámu robotu. K točně je dále uchycena sedací část pro přepravovanou osobu. Konstrukce tohoto celku umožňuje, natočení sedací části o 90° a tím zlepšení komfortu nasedání přepravované osoby.



Obr. 44 Točna

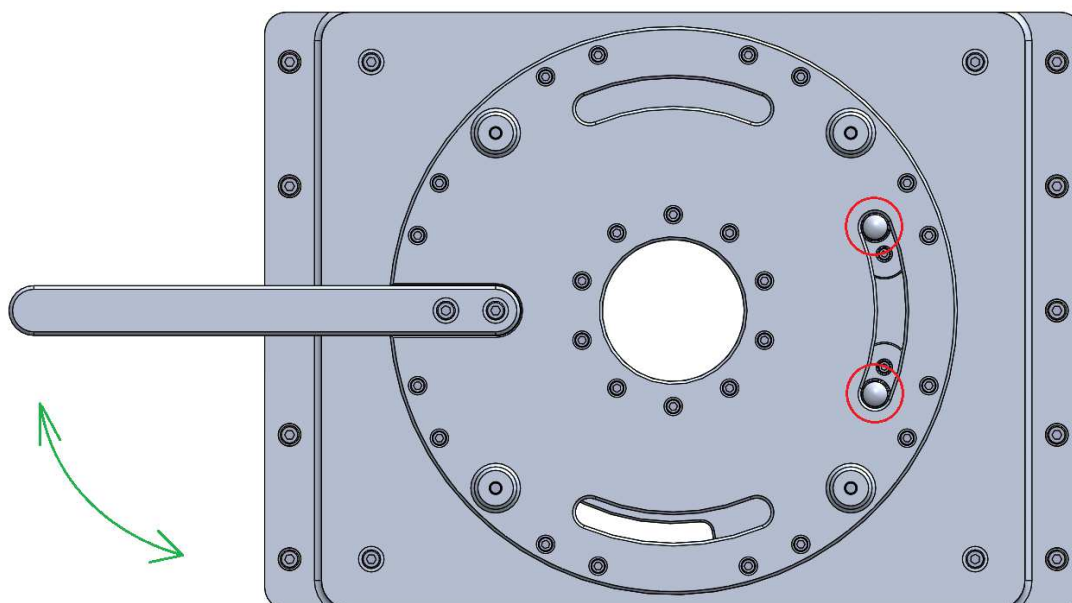


Obr. 45 Točna řez

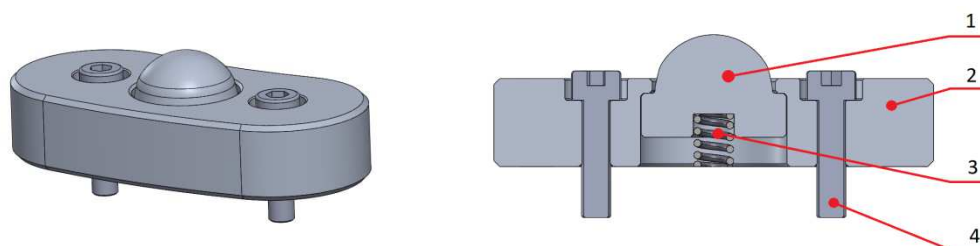
1	Páka
2	Ložisko axiální 51130 M
3	Hrniec
4	Víko 06
5	Základna

Tab. 11 Legenda dílů točna

Princip točny je následující, viz Obr. 46. Po otočení o  $45^\circ$  ve směru šipky dojde k zajištění polohy pomocí dvou mechanických pružných dorazů. Ty jsou opatřeny tlačnou pružinou, jejíž sílu musí obsluha překonat pro uvolnění mechanismu.



**Obr. 46** Točna půdorys



**Obr. 47** Pružný doraz

1	Doraz
2	Domeček 07
3	Tlačná pružina
4	Šroub M5 x 20 DIN 912 8.8.

**Tab. 12** Legenda pružného dorazu

Konstrukčně je možné tento mechanismus uzpůsobit tak, že by byl elektrifikovaný a tím by se následně zlepšil komfort pro nasedání přepravované osoby. Tento krok by měl následně vliv na cenu, spojenou s automatizací celého tohoto subsystému.<sup>4</sup>

## 9. Kontrolní výpočty

### 9.1 Výpočet a dimenzování motoru

Předpoklad k tomuto výpočtu vychází z předpokladu, že známe přesnou hmotnost zařízení a přepravované osoby. Zadané veličiny jsou zobrazeny níže.

$$\text{Hmotnost zařízení } m_1 \qquad m_1 = 100 \qquad [\text{Kg}] \qquad (1)$$

$$\text{Hmotnost pasažéra } m_2 \qquad m_2 = 180 \qquad [\text{Kg}] \qquad (2)$$

$$\text{Úhle stoupání schodiště } \alpha \qquad \alpha = 35 \qquad [^\circ] \qquad (3)$$

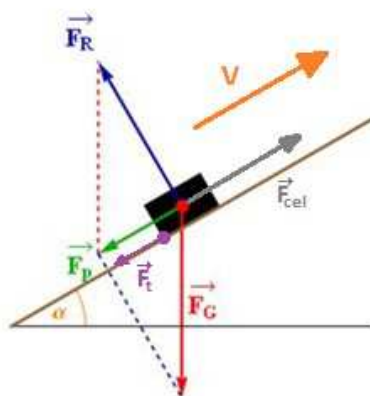
$$\text{Gravitační zrychlení } g \qquad g = 9,81 \qquad [\text{ms}^{-2}] \qquad (4)$$

$$\text{Koeficient tření } f \qquad f = 0,3 \qquad [-] \qquad (5)$$

$$\text{Poloměr hnacího kola } r_k \qquad r_k = 157,5 \qquad [\text{mm}] \qquad (6)$$

$$\text{Zrychlení } a \qquad a = 0,5 \qquad [\text{ms}^{-2}] \qquad (7)$$

$$\text{Rychlost } v \qquad v = 1,11 \qquad [\text{ms}^{-1}] \qquad (8)$$



**Obr. 48** Nakloněná rovina

Početní úlohu si zjednodušíme, tak že schodiště nahradíme nakloněnou rovinou a zanedbáme tak profil schodů. Tato skutečnost bude nahrazena navýšením vypočtených hodnot a koeficient korekce  $k_c$ .

$$\text{Celková hmotnost } \mathbf{m_{cel}} \quad m_{cel} = m_1 + m_2 = 100 + 180 = 280 \text{ [Kg]} \quad (9)$$

$$\text{Tíhová síla } \mathbf{F_G} \quad F_{G1} = m_{cel} \cdot g = 280 \cdot 9,81 = 2746,8 \text{ [N]} \quad (10)$$

V dalších krocích je nutné získat hodnoty jednotlivých složek síly  $F_{G2}$ , ze kterých získáme hodnoty  $F_p$  a  $F_R$ . Tyto síly jsou důležité pro určení celkové požadované síly nutné pro překonání námi definované nakloněné roviny.

$$\begin{aligned} \text{Vodorovná složka tíhové síly } \mathbf{F_{Gx}} \quad F_{Gx} &= F_G \cdot \sin \alpha = 2746,8 \cdot \sin 30 = \\ F_{Gx} &= 1375 \text{ [N]} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Svislá složka tíhové síly } \mathbf{F_{Gy}} \quad F_{Gy} &= F_G \cdot \cos \alpha = 2746,8 \cdot \cos 30 = \\ F_{Gy} &= 2380 \text{ [N]} \end{aligned} \quad (12)$$

Vypočtené hodnoty složek síly  $F_{G2}$  nyní můžeme položit do rovnosti se silami  $F_R$  a  $F_p$ . Je nutné podotknout, že zde budou platit podmínky rovnováhy.

$$\text{Normálová síla } \mathbf{F_R} \quad F_R = F_{Gy} \text{ [N]} \quad (13)$$

$$\text{Tahová síla } \mathbf{F_p} \quad F_p = F_{Gx} \text{ [N]} \quad (14)$$

$$\text{Třecí síla } \mathbf{F_t} \quad F_t = F_R \cdot f \text{ [N]} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{Celková síla } \mathbf{F_{cel}} \quad F_{cel} &= m \cdot g \cdot \left( f \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha) + \frac{a}{g} \right) = \\ F_{cel} &= 280 \cdot 9,81 \cdot \left( 0,3 \cdot \cos(30) + \sin(30) + \frac{0,5}{9,81} \right) \\ F_{cel} &= 2230 \text{ [N]} \end{aligned} \quad (16)$$

Nyní když známe celkovou sílu působící potřebnou pro pohyb na nakloněné rovině, je nutné určit potřebný výkon.

$$\text{Potřebný výkon } \mathbf{P_M} \quad P_M = F_c \cdot v = 2230 \cdot 1,11 = 2475 \text{ [W]} \quad (17)$$

$$\text{Potřebný výkon na kolo } \mathbf{P_{M1}} \quad P_{M1} = \frac{P_M}{4} = \frac{2475}{4} = 618,75 \text{ [W]} \quad (18)$$

$$\text{Potřebný moment na kolo } \mathbf{M_{k1}} \quad M_{k1} = \frac{P_{M1} \cdot r_k}{2 \cdot v} = \frac{618,75 \cdot 0,1575}{2 \cdot 1,11} = 43,9 \text{ [Nm]} \quad (19)$$

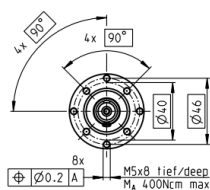
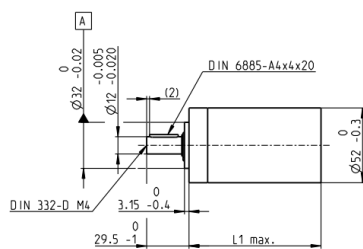
Na základě vypočtených parametrů byl zvolen příslušný motor a převodovka od výrobce Maxon.

## 9.1.1 Planetová převodovka

### Planetary Gearhead GP 52 C Ø52 mm, 4–30 Nm

Ceramic Version

maxon gear



M 1:4

#### Technical Data

Planetary Gearhead	straight teeth
Output shaft	stainless steel
Bearing at output	preloaded ball bearings
Radial play, 12 mm from flange	max. 0.06 mm
Axial play at axial load	< 5 N 0 mm > 5 N max. 0.3 mm
Max. axial load (dynamic)	200 N
Max. force for press fits	500 N
Direction of rotation, drive to output	=
Max. continuous input speed	6000 rpm
Recommended temperature range	-15...+80°C
Extended range as option	-40...+100°C
Number of stages	1 2 3 4
Max. radial load, 12 mm from flange	420 N 630 N 900 N 900 N

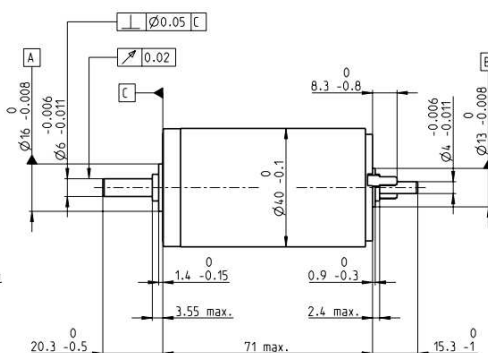
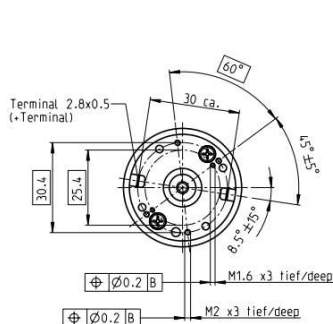
Obr. 49 Planetová převodovka

Cena jedné planetové převodovky se pohybuje okolo 355 € za jeden kus.

## 9.1.2 RE motor

### RE 40 Ø40 mm, Graphite Brushes, 150 Watt

maxon RE motor



M 1:2

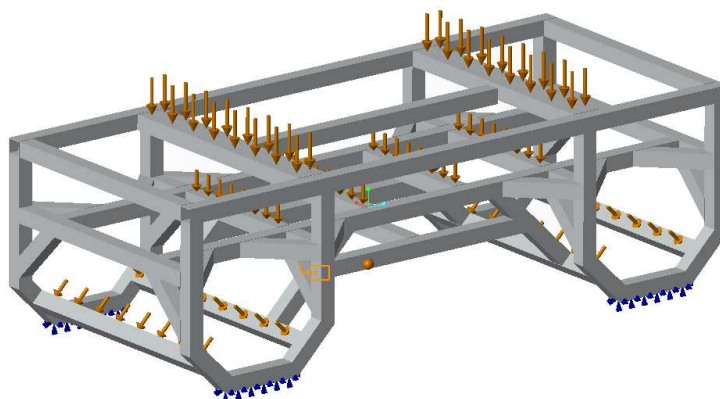
Obr. 50 RE motor

Cena jednoho motoru se pohybuje okolo 350 € za jeden kus.

Motor spolu s planetou převodovkou jsou doručovány již v sestaveném stavu. Produkty společnosti Maxon jsou dražší, ale jejich kvalita a provedení je na velmi vysoké úrovni.

## 9.2 FEM analýza rámu konstrukce

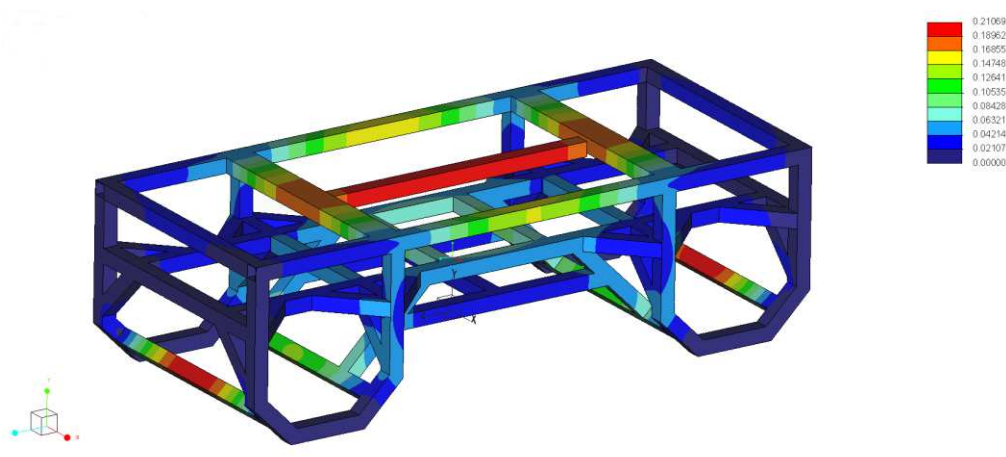
Rám jako to hlavní nosný prvek celého lokomočního ústrojí robotu je nutné ověřit z hlediska maximálních napětí a průhybů konstrukce. Pro tuto aplikaci byl zvolen software Creo 3.0.



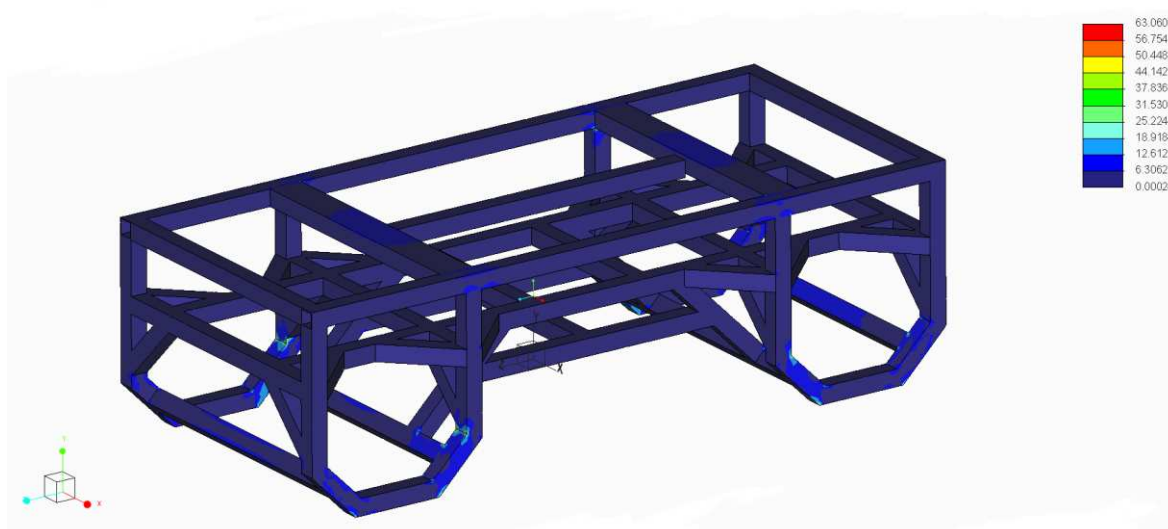
**Obr. 51** Výpočtový model rámu [6]

Konstrukce rámu byla převedena do prostředí Creo 3.0, kde byla zhotovena statická analýza konstrukce rámu, ze které následně bude prověřeno maximální posunutí a napětí metodou Von Mises.

Nejprve je nutné odebrat řešené úloze potřebné stupně volnosti. V tomto případě byly využity kontaktní plochy, kde jsou uchyceny nápravy lokomočního ústrojí robotu. Následně bylo definováno zatížení na konstrukci a materiál zatěžované konstrukce. Byla provedena statická analýza.



**Obr. 52** Maximální průhyby rámu [6]



**Obr. 53** Maximální napětí v rámu [6]

Z technických parametrů vlastnosti materiálu EN AW-6060 T6, kdy maximální dovolené napětí v ohybu  $\sigma = 160 \text{ MPa}$ .

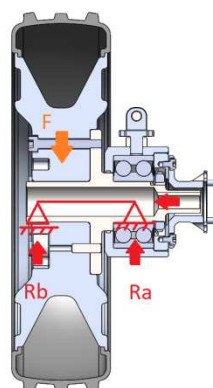
Vyhodnocení analýzy:

- Maximální průhyb 0,21 [mm]
- Maximální napětí 63 [MPa]

Na základě těchto informací je možné rám optimalizovat a konstrukčně upravit tak, aby při co nejnížší hmotnosti splnil veškeré pevnostní požadavky na konstrukci.

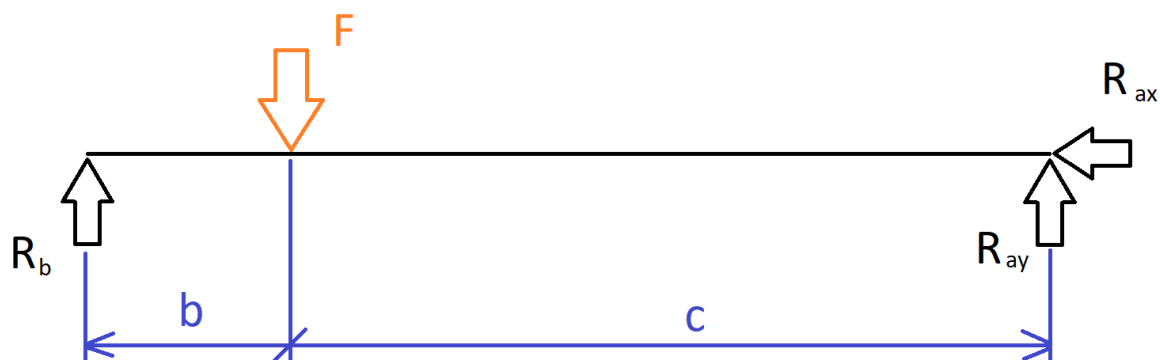
### 9.3 Návrh ložiska hnacího kola

U návrhu ložiska hnacího kola je nutné tuto úlohu zjednodušit a to konkrétně na statický určitý nosník.



**Obr. 54** Zjednodušení hnacího kola [6]





Obr. 55 Silový rozklad [6]

$$\text{Koeficient bezpečnosti } k_c \qquad k_c = 1,2 [-] \qquad (20)$$

$$\text{Zatěžovací síla } F \qquad F = \frac{m_{\text{cel}} \cdot g}{6} \cdot k_c = \frac{280 \cdot 9,81}{6} \cdot 1,2 = 550 \text{ [N]} \qquad (21)$$

Z momentové rovnováhy je možné zjistit velikosti jednotlivých reakčních sil.

$$\text{Rameno } b \qquad b = 45 \text{ [mm]} \qquad (22)$$

$$\text{Rameno } c \qquad c = 25 \text{ [mm]} \qquad (23)$$

*Podmínky rovnováhy:*

$$\text{Suma všech sil v ose x} \qquad \sum F_x = 0 \text{ [N]} \qquad (24)$$

$$\sum F_x = R_{ax} = 0 \text{ [N]}$$

$$\text{Suma všech sil v ose y} \qquad \sum F_y = 0 \text{ [N]} \qquad (25)$$

$$\sum F_y = R_b - F + R_{ay} = 0 \text{ [N]}$$

$$R_{ay} = F - R_b = 550 - 200 = 350 \text{ [N]}$$

$$\text{Suma všech momentů k bodu a} \qquad \sum M_a = 0 \text{ [Nm]} \qquad (26)$$

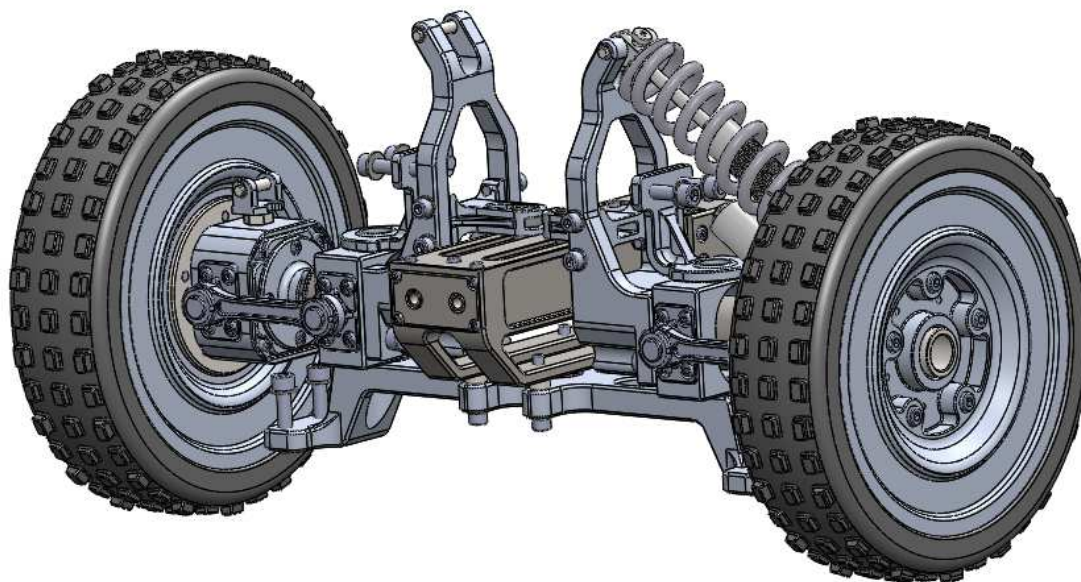
$$\sum M_a = F \cdot c - R_b \cdot (b + c) = 0 \text{ [Nm]}$$

$$R_b = \frac{F \cdot c}{b + c} = \frac{550 \cdot 0,025}{0,045 + 0,025} = 200 \text{ [N]}$$

Síla, na kterou je nutné v radiální směru zvolit příslušné ložisko má hodnotu  $R_{ay} = 350$  N. Zvolené ložisko 3307 A-2RS1T TN9/MT33 má dovolené radiální zatížení  $F_{\text{rad}} = 35,5$  kN a maximální axiální zatížení  $F_{\text{axial}} = 0,52$  kN.

## 10. Montáž přední nápravy

V této kapitole bude podrobně vysvětlen montážní postup celé této podsestavy robotu. Montáž se skládá z několika podsestav, které se skládají do jednoho celku.



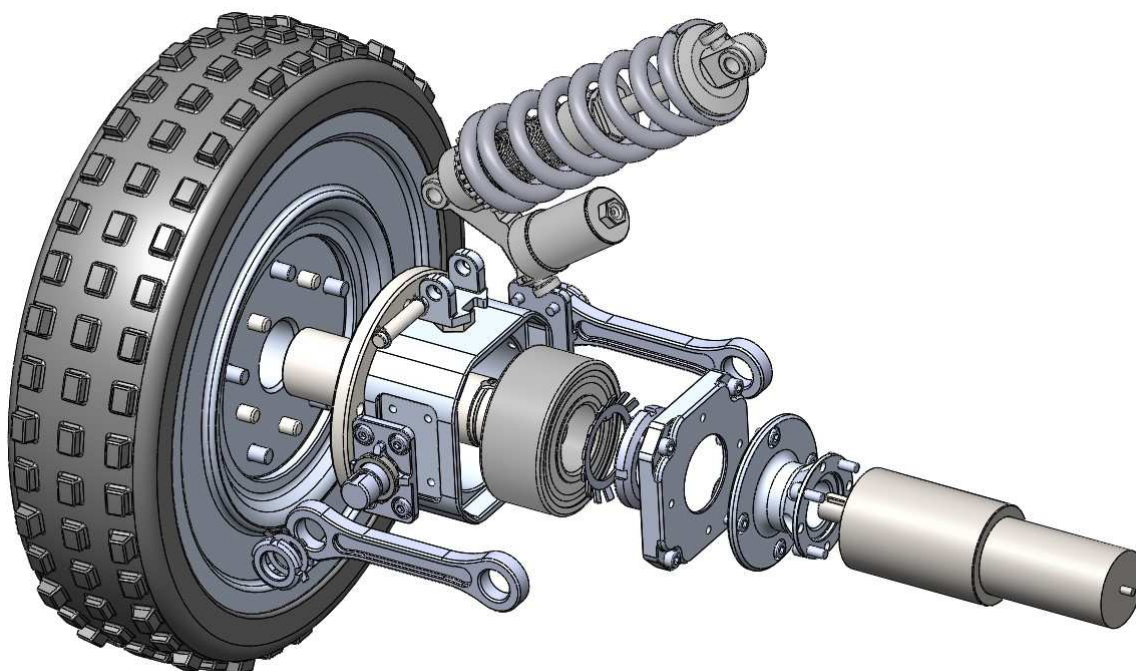
**Obr. 56** Přední náprava

Postupně budou rozebrány tyto podsestavy:

- Hnací kolo
- Kyvka
- Řízení

### 10.1 Montáž hnacího kola

Hnací kolo je hlavním hnacím prvkem celého subsystému lokomočního ústrojí, který zprostředkovává přenos kroutícího momentu z motoru, přes pneumatiku na vozovku.



**Obr. 57** Montáž hnacího kola

V prvním kroku se motor uchyty k Domečku 03 za pomoci čtyř šroubů M5 x 12 DIN 912 8.8. Tento Domeček 03 se následně přišroubuje k víku pomoci čtyř šroubů M5 x 6 DIN 912 8.8 tímto krokem dojde k sestavení (uchycení motoru) z pravé strany.

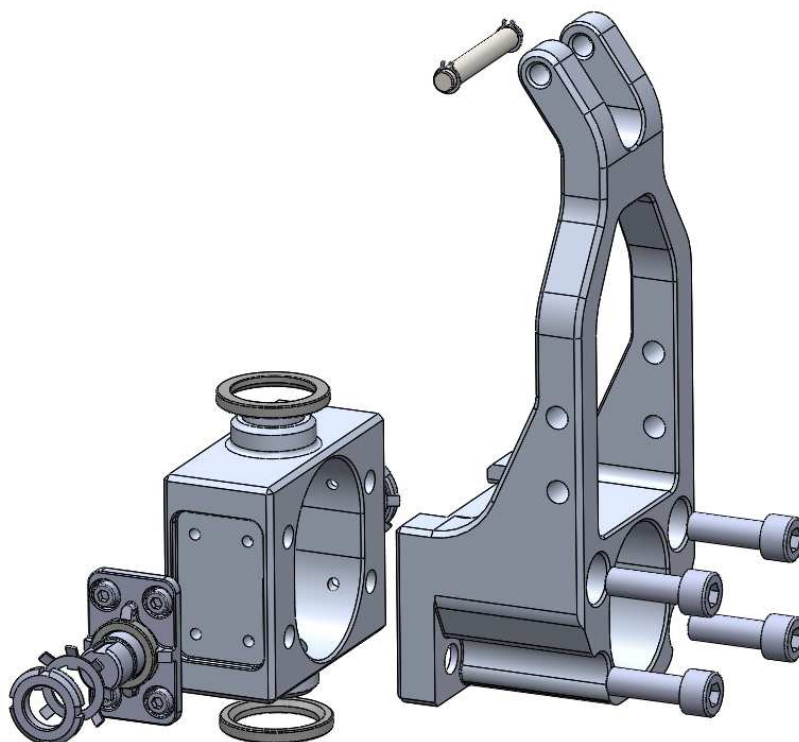
Na hřídel, která je nosným prvkem nalisujeme kuličkové ložisko 3307 A-2RS1TN9 a následně její spodní kroužek zajistíme pomoci podložky MB7 a matice KM7. Nejdříve však tuto hřídel musíme zasunout do Domečku. Jakmile je horní kroužek ložiska zalisován do domečku zajistíme jej pomoci zašroubování víka za pomoci čtyř šroubů M5 x 12 DIN 912 8.8. Na hřídeli motoru je zalisováno těsné pero, které zapadne do protějšší drážky na hřídeli a tím zajistíme tvarový styk a možnost přenosu kroutícího momentu.

Jakmile je ložisko zajištěno uvnitř domečku, je možné na domeček našroubovat šroub z horní strany, který slouží uchycení tlumiče. Dále na boční strany našroubujeme konzole pomoci čtyř šroubů M5 x 6 DIN 912 8.8. Na tyto konzole se nasunou táhla, které se zajistí pomoci podložky MB3 a matice KM3.

Takto sestavený domeček se nasune do řemenice, přesnou polohu zajišťují čepy nalisované do řemenice. Řemenici následně našroubujeme na hřídel za pomoci pěti šroubu M8 x 55 DIN 912 8.8.

## 10.2 Montáž kyvka

Konstrukční uzel kyvka zprostředkovává kontakt mezi hnacím kolem a rámem. Z pomoci ložisek (nalisované kroužky) je umožněna rotace kolem osy kyvky. Táhla, která jsou uchycena k Domečku 04, umožní vertikální pohyb kola v rozmezí nastaveného zdvihu tlumiče.

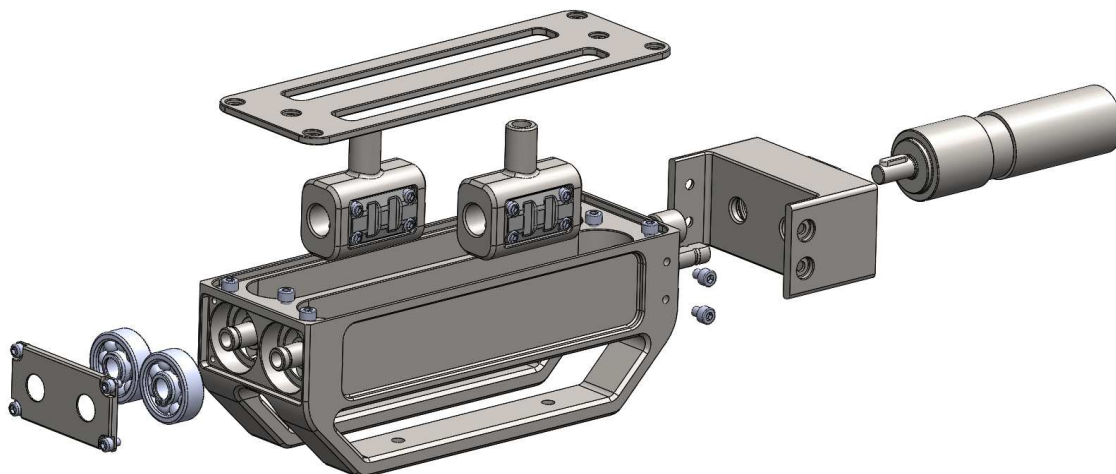


**Obr. 58** Montáž kyvky

K hlavnímu nosnému prvku, tzv. ramenu se přišroubuje domeček 04 za pomoci čtyř šroubu M10 x 30 DIN 912 8.8. Na domeček 04 se našroubují konzole stejným způsobem, jako tomu bylo u hnacího kola. Čep 02 slouží k uchycení tlumiče.

### 10.3 Montáž řízení

Řízení zajišťuje pomocí elektromotoru natáčení hnacích kol, symetricky od roviny přední nápravy. Je nutné zmínit, že obě hnací kola jsou natáčena stejně, tudíž se nejedná o stejný způsob jako je tomu u řízení automobilů. Toto konstrukční řešení bylo zvoleno na základě požadavku nízké provozní rychlosti a to  $4 \text{ km.h}^{-1}$ .



**Obr. 59** Montáž řízení

Do domečku 05 se vloží kulisy, do kterých se nasunou trapézové šrouby, na které se nalisují kuličková ložiska. Ložiska se zajistí víky do domečku. Z horní strany se přišroubuje víko za pomoci šesti šroubů M5 x 6 DIN 912 8.8.

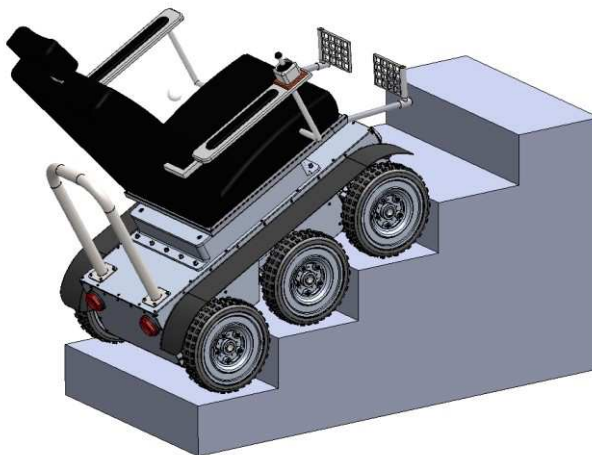
K zadní části domečku je našroubován domeček 06, ve kterém je uložen řemenový převod poháněný elektromotorem. Přenos kroutícího momentu z motoru na řemenici je zprostředkován tvarovým stykem mezi nábojem hřídele a pera, které je zalisováno do drážky na hřídeli motoru.

Po sestavení všech předchozích konstrukčních skupin, dojde k sestavení k rámu robotu za pomoci konzol a šroubových spojení.

## 11. Požadavky na provoz a údržbu

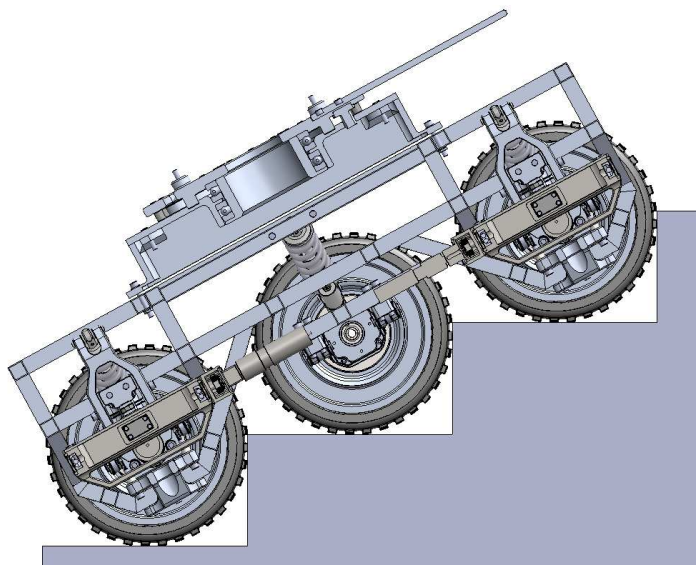
Hlavními požadavky na provoz zařízení je schopnost zdolat přímé tak i točité schodiště. U přímých nesmí dojít ke kolizi podvozku s hranou schodu a maximální rychlost pohybu je  $4 \text{ km.h}^{-1}$ .

### 11.1 Pohyb po rovném schodišti



**Obr. 60** Jízda po přímých schodech

Princip pohybu robotu po přímém schodišti je navržen tak, že robot přijede k hraně schodu kolem přední nápravy. Kolo se dotkne hrany a dojde k překlopení přes hranu schodu.

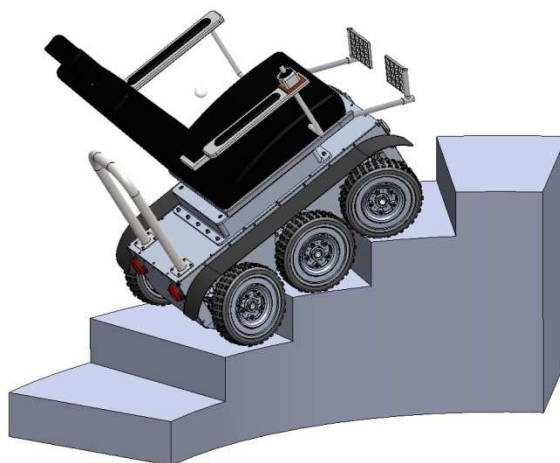


**Obr. 61** Řez jízdou po přímých schodech



Dezén pneumatiky, na které se nacházejí výstupky s rozdílnou výškou, napomáhá k lepšímu pohybu přes hranu schodiště. Tímto houpavým pohybem je zařízení vyzdvihováno schod po schodu.

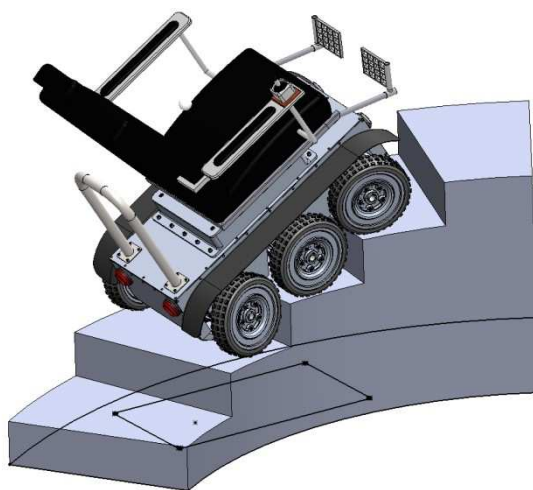
## 11.2 Pohyb po točitém schodišti



**Obr. 62** Jízda po točitých schodech

Pohyb po točitých schodech je realizován stejným způsobem, jako je tomu u schodu přímých. Maximální poloměr otáčení robotu je 1500 mm, menší poloměr není možný z konstrukčních důvodů lokomočního ústrojí robotu.

Během pohybu je nutné, aby těžiště zařízení bylo uvnitř půdorysu zařízení. Toto je zobrazeno Obr. 63 níže.



**Obr. 63** Těžiště robotu při jízdě po točitých schodech

### **11.3 Údržba zařízení**

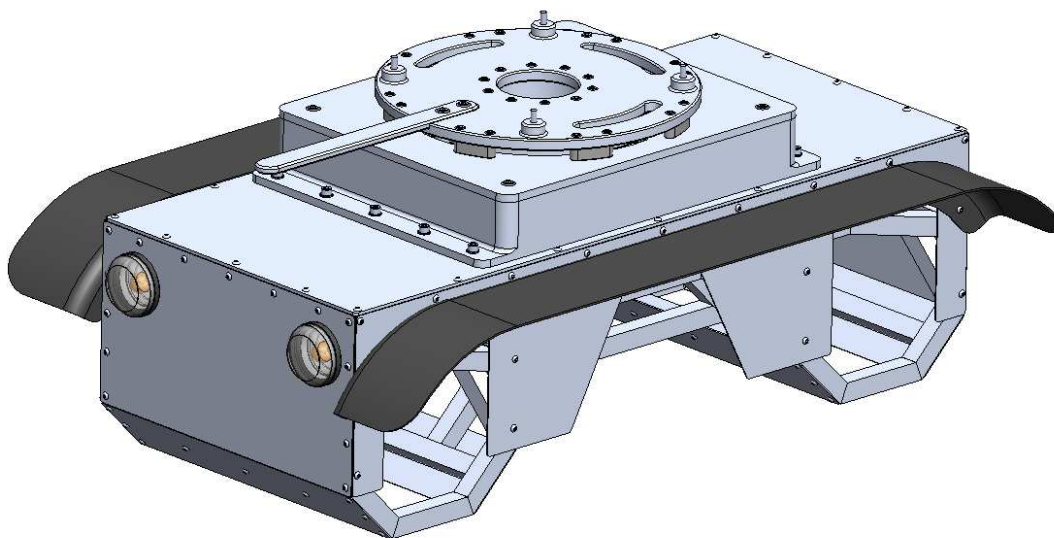
Z hlediska údržby zařízení, je konstrukce velmi jednoduchá a lehce udržovatelná. V pravidelných cyklech definovaných příručkou je nutné namazat ložiska a trapézové šrouby u řízení. Důležité ložiska u hnacích a hnaných kol jsou uloženy v domečku a utěsněny proti vniku nečistot.

Celé zařízení je poháněno dvěma bateriemi (akumulátory), které je nutné dobíjet.



## 12. Krytování a bezpečnost zařízení

Krytování lokomočního ústrojí robotu je nutné z hlediska bezpečnosti zařízení. Je nutné během provozu zařízení zajistit nemožnost vniku končetin ostatních osob v okolí robotu do rotačních částí robotu.



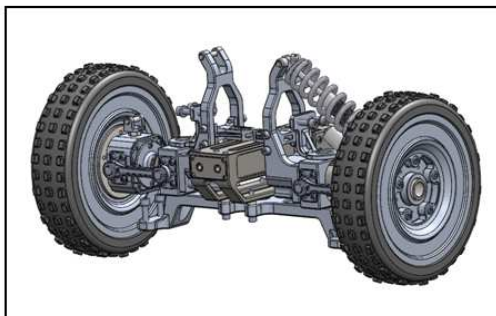
**Obr. 64** Krytování lokomočního ústrojí

Pro tyto účely je rám robotu opatřen krycími plechy, které jsou k rámu přišroubovány. Kola jsou zakryta blatníky. Lokomoční ústrojí robotu je opatřeno dvěma páry světlometů, a to ve přední části čirými světlomety a v zadní části světlomety červenými signalizačními.

## 13. Technickoekonomické zhodnocení

Následující tabulky obsahují cenové nabídky jednotlivých podsestav robotu. Jedná se o ceny zpracované společností SV Olšovec na základě dodaných 3D dat. V ceně nejsou uvedeny položky spojovacího materiálu a elektrického zapojení.

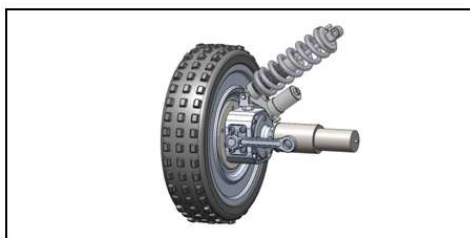
### 13.1 Přední a zadní náprava



Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Hnací kolo</i>	2	40 960 Kč	81 920 Kč
<i>Rameno 02</i>	1	9 940 Kč	9 940 Kč
<i>Kyvka</i>	2	9 062 Kč	18 124 Kč
<i>Řízení</i>	1	39 680 Kč	39 680 Kč
<i>Konzole</i>	4	2 250 Kč	9 000 Kč
Cena celkem			158 664 Kč

Obr. 65 Celková cena hnací nápravy [17]

#### 13.1.1 Hnací kolo



Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Řemenice</i>	1	3 120 Kč	3 120 Kč
<i>Hřídel</i>	1	1 730 Kč	1 730 Kč
<i>Domeček</i>	1	1 840 Kč	1 840 Kč
<i>Šroub</i>	1	1 110 Kč	1 110 Kč
<i>Víko</i>	1	1 570 Kč	1 570 Kč
<i>Domeček 03</i>	1	990 Kč	990 Kč
<i>Táhlo</i>	2	540 Kč	1 080 Kč
<i>Konzole</i>	2	740 Kč	1 480 Kč
<i>Čep</i>	1	540 Kč	540 Kč
<i>Tlumič</i>	1	10 000 Kč	10 000 Kč
<i>Motor</i>	1	17 500 Kč	17 500 Kč
Cena celkem			40 960 Kč

Obr. 66 Cena hnacího kola [17]

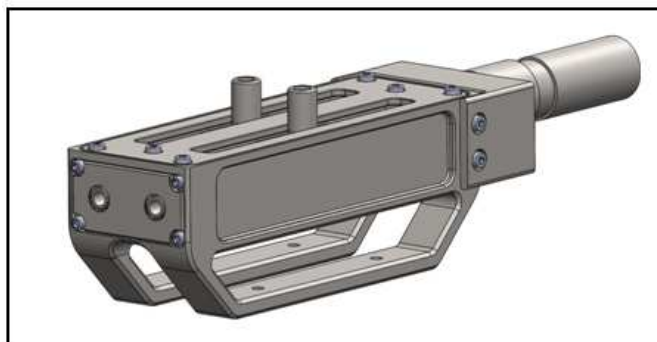
### 13.1.2 Kyvka



Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Domeček 04</i>	1	1 986 Kč	1 986 Kč
<i>Rameno</i>	1	4 056 Kč	4 056 Kč
<i>Ložisko</i>	2	500 Kč	1 000 Kč
<i>Konzole</i>	2	740 Kč	1 480 Kč
<i>Čep</i>	1	540 Kč	540 Kč
<b>Cena celkem</b>			<b>9 062 Kč</b>

Obr. 67 Cena kyvky [17]

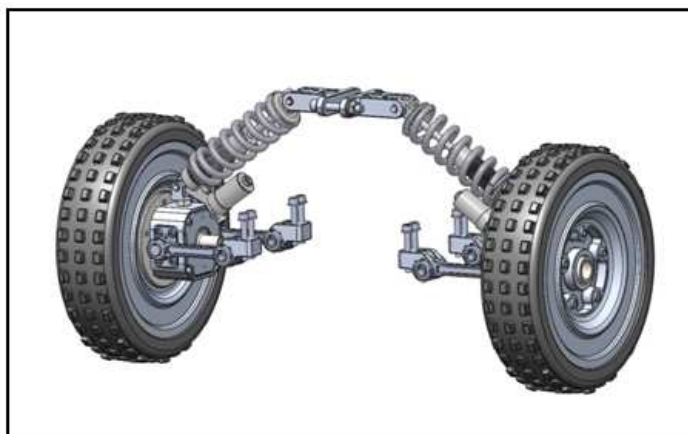
### 13.1.3 Řízení



Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Domeček 05</i>	1	15 000 Kč	15 000 Kč
<i>Trapázový šroub</i>	2	925 Kč	1 850 Kč
<i>Kulisa</i>	2	2 000 Kč	4 000 Kč
<i>Konzole</i>	2	740 Kč	1 480 Kč
<i>Ložisko</i>	4	275 Kč	1 100 Kč
<i>Víko 04</i>	1	300 Kč	300 Kč
<i>Domeček 06</i>	1	1 200 Kč	1 200 Kč
<i>Řemenový převod</i>	1	3 250 Kč	3 250 Kč
<i>Elektromotor</i>	1	11 500 Kč	11 500 Kč
<b>Cena celkem</b>			<b>39 680 Kč</b>

Obr. 68 Cena řízení [17]

## 13.2 Střední náprava

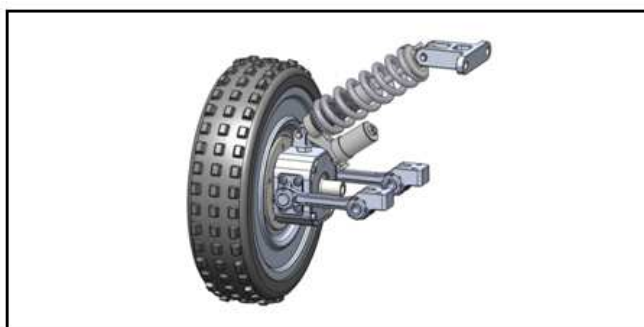


Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Hnané kolo</i>	<i>2</i>	<i>23 210 Kč</i>	<i>46 420 Kč</i>

<b>Cena celkem</b>	<b>46 420 Kč</b>
--------------------	------------------

**Obr. 69** Celková cena hnané nápravy [17]

### 13.2.1 Hnané kolo

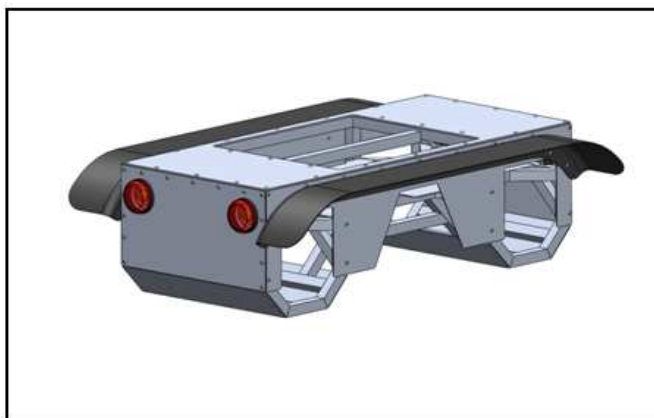


Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Řemenice</i>	<i>1</i>	<i>3 120 Kč</i>	<i>3 120 Kč</i>
<i>Hřídel</i>	<i>1</i>	<i>1 730 Kč</i>	<i>1 730 Kč</i>
<i>Domeček</i>	<i>1</i>	<i>1 840 Kč</i>	<i>1 840 Kč</i>
<i>Šroub</i>	<i>1</i>	<i>1 110 Kč</i>	<i>1 110 Kč</i>
<i>Víko</i>	<i>1</i>	<i>1 570 Kč</i>	<i>1 570 Kč</i>
<i>Táhlo</i>	<i>2</i>	<i>540 Kč</i>	<i>1 080 Kč</i>
<i>Konzole</i>	<i>3</i>	<i>740 Kč</i>	<i>2 220 Kč</i>
<i>Čep</i>	<i>1</i>	<i>540 Kč</i>	<i>540 Kč</i>
<i>Tlumič</i>	<i>1</i>	<i>10 000 Kč</i>	<i>10 000 Kč</i>

<b>Cena celkem</b>	<b>23 210 Kč</b>
--------------------	------------------

**Obr. 70** Cena hnaného kola [17]

### 13.3 Rám a krytování

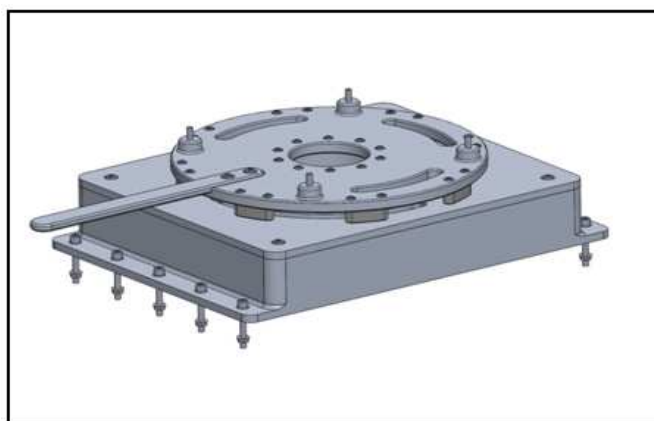


Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Rám</i>	<i>1</i>	<i>20 000 Kč</i>	<i>20 000 Kč</i>
<i>Krycí plechy</i>	<i>1</i>	<i>3 500 Kč</i>	<i>3 500 Kč</i>
<i>Blatník</i>	<i>2</i>	<i>700 Kč</i>	<i>1 400 Kč</i>
<i>Světlomety</i>	<i>4</i>	<i>500 Kč</i>	<i>2 000 Kč</i>

<b>Cena celkem</b>	<b>26 900 Kč</b>
--------------------	------------------

Obr. 71 Cena rámu a krytování [17]

### 13.4 Točna

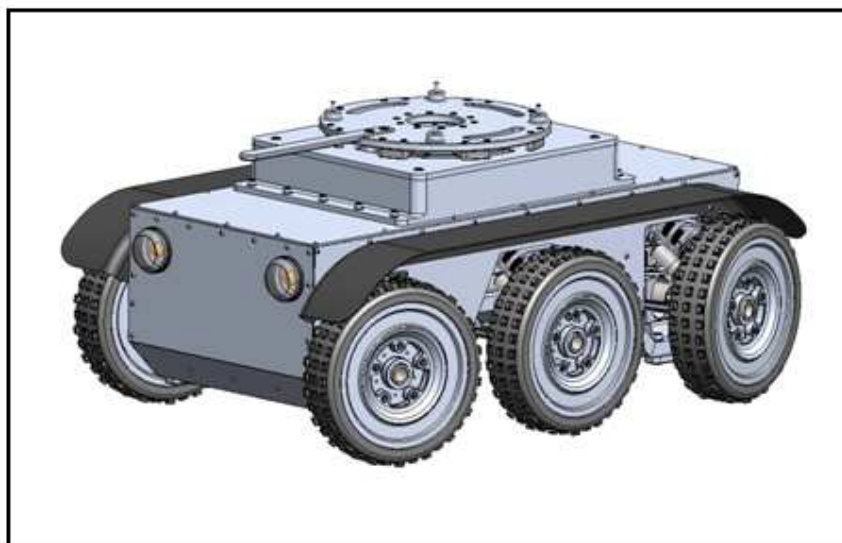


Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Základna</i>	<i>1</i>	<i>4 750 Kč</i>	<i>4 750 Kč</i>
<i>Víko 06</i>	<i>1</i>	<i>625 Kč</i>	<i>625 Kč</i>
<i>Hrnec víko</i>	<i>1</i>	<i>850 Kč</i>	<i>850 Kč</i>
<i>Páka</i>	<i>1</i>	<i>150 Kč</i>	<i>150 Kč</i>
<i>Ložisko</i>	<i>6</i>	<i>275 Kč</i>	<i>1 650 Kč</i>
<i>Pružný doraz</i>	<i>2</i>	<i>1 250 Kč</i>	<i>2 500 Kč</i>

<b>Cena celkem</b>	<b>10 525 Kč</b>
--------------------	------------------

Obr. 72 Cena točny [17]

### 13.5 Cena za mechanickou část celkem



Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
<i>Přední náprava</i>	<i>1</i>	<i>158 664 Kč</i>	<i>158 664 Kč</i>
<i>Zadní náprava</i>	<i>1</i>	<i>158 664 Kč</i>	<i>158 664 Kč</i>
<i>Strřední náprava</i>	<i>1</i>	<i>46 420 Kč</i>	<i>46 420 Kč</i>
<i>Rám</i>	<i>1</i>	<i>26 900 Kč</i>	<i>26 900 Kč</i>
<i>Točna</i>	<i>1</i>	<i>10 525 Kč</i>	<i>10 525 Kč</i>

<b>Cena celkem</b>	<b>401 173 Kč</b>
--------------------	-------------------

**Obr. 73** Cena celkem za mechanickou část robotu [17]

## 14. Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhotovení konstrukčního záměru robotu, tzv. schodolezu se schopností zdolat přímé i točité schodiště. Na základě dostupných informací o těchto zařízeních a znalosti lokomočních ústrojí opatřenými koly nebo pásem.

Dle požadavkového listu byly zpracovány dvě koncepční varianty, a to konkrétně varianta kolového a pásového provedení lokomočního ústrojí. Tyto varianty byly analyzovány pomocí vícekritériální analýzy dle zvolených kritérií.

Pro zvolenou variantu lokomočního ústrojí byla zpracována výpočtová zpráva spolu s výkresovou dokumentací jednotlivých podsestav lokomočního ústrojí navrhovaného robotu. Byly vypočteny motory pro hnací části robotu, provedena pevnostní kontrola nosného rámu robotu. Dále bylo zkonstruováno mechanické řízení náprav robotu spolu s uložením. Posledním konstrukčním prvkem je tzv. točna, která slouží k uchycení sedací části, která však není cílem práce.

Součástí práce je analýza pohybu konstrukčního záměru po předem definovaných schodištích spolu s analýzou změny polohy těžiště. Dále je řešeno krytování a osvětlení robotu. Elektrické zprovoznění robotu není cílem této práce.

### Zhodnocení dosažených výsledků

- Lokomoční ústrojí schodolezu je navrženo dle stávajících standardů kolových robotických systémů
- Detailně byly zhotoveny veškeré podsestavy kolového lokomočního ústrojí robotu
- Při návrhu byly zohledněny a dodrženy následující parametry

Základní parametry konstrukce podvozku	
Maximální šířka zařízení	800 [mm]
Nosnost podvozku	280 [kg]
Poloměr otáčení	1500 [mm]
Maximální rychlost	4 [km/h]

Tab. 13 Základní parametry

- Technickoekonomické zhodnocení ústrojí robotu bylo konzultováno se zástupci firmy SV Ološovec.

- Byl proveden návrh krytování a osvětlení lokomočního ústrojí robotu

### **Další možnosti a náměty**

- Optimalizace veškerých sestav v závislosti na pružnostně pevnostní analýze, v souladu s podmínkami potřebnými pro zhotovení dílů v závislosti na ceně.
- Konstrukční řešení sedací části schodolezu, možnost elektrifikovat točnu
- Zlepšení komfortu přepravované osoby v souvislosti s pohybem po schodištích
- Doplnění senzoriky, která napomůže k lepší ovladatelnosti zařízení přepravovanou osobou
- Možnost doplnění motorů na střední hnanou nápravu v případě, že by to bylo nutné



## 15. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] KÁRNÍK, Ladislav; *Praktické aplikace servisních robotů*. 1. vydání. Náklad: Studijní materiály pro studijní obor Robotika Fakulty strojů, 2011. 93 s. ISBN 978-80-248-2727-8.
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB, 2009. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [3] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. aktualizace vydání, Úvaly: Albra, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7
- [4] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86s. ISBN 80-248-0514-6.
- [5] VLČEK, T. *Pásová jednotka mobilního robotu ARES*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2016, 51 s. Vedoucí práce: Gala, M.
- [6] BURŠA, Jiří. HORNÍKOVÁ, Jana. JANÍČEK, Přemysl. *Pružnost a pevnost*. Brno, únor 2003, vydání první ISBN80-7204-268-8.

### Internetové zdroje

- [7] Výpočet O-kroužků. *Trelleborg* [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z: <http://www.tss.trelleborg.com/>
- [8] Technické výpočty [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z: <http://www.e-konstrukter.cz/>
- [9] Volba O-kroužků *Hennlich* [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z: [www.hennlich.cz](http://www.hennlich.cz)
- [10] Kuličková ložiska. *SKF* [online]. 2018 [cit. 2018-21-05] Dostupné z: <http://www.skf.com/>

- [11] Hutní materiál. *Ferona* [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z:  
<http://www.ferona.cz/cze/index.php>
- [12] Spojovací material. *Nerezka* [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z:  
<http://www.nerezka.cz/>
- [13] Hliníkové polotovary. *Alunet* [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z:  
<http://www.alunet.cz/>
- [16] Motory *Maxon* . [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z:  
<https://www.maxonmotor.com>
- [17] Výroba dílů *SV Olšovec* . [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z:  
<http://www.sv-olsovec.cz/>
- [18] Koncepty schodolezů *Schodolez* . [online]. 2018 [cit. 2018-21-05]. Dostupné z:  
<http://www.schodolez.cz/>

## 16. Seznam příloh

### Výpočtová dokumentace

Příloha [A]	Pevnostní kontrola ramene kyvky
Příloha [B]	Návrh tlačné pružiny dorazu točny
Příloha [C]	Kontrola kolíků
Příloha [D]	Kontrola perového spoje
Příloha [E]	Výpočet těsnícího O kroužku

### Výkresová dokumentace

Sestavný výkres lokomočního ústrojí	DIPLVLC0061-SCHODOLEZ
Sestavný výkres přední nápravy	DIPLVLC0061-PŘEDNÍ_NÁPRAVA
Sestavný výkres střední náprava	DIPLVLC0061-STŘEDNÍ_NÁPRAVA
Sestavný výkres hnací řemenice	DIPLVLC0061- HNACÍ_KOLO
Sestavný výkres točny	DIPLVLC0061-TOČNA
Výrobní výkres hřídel	DIPLVLC0061-HŘÍDEL
Výrobní výkres domeček	DIPLVLC0061-DOMEČEK
Výrobní výkres konzole	DIPLVLC0061-KONZOLE

### Přiložené CD

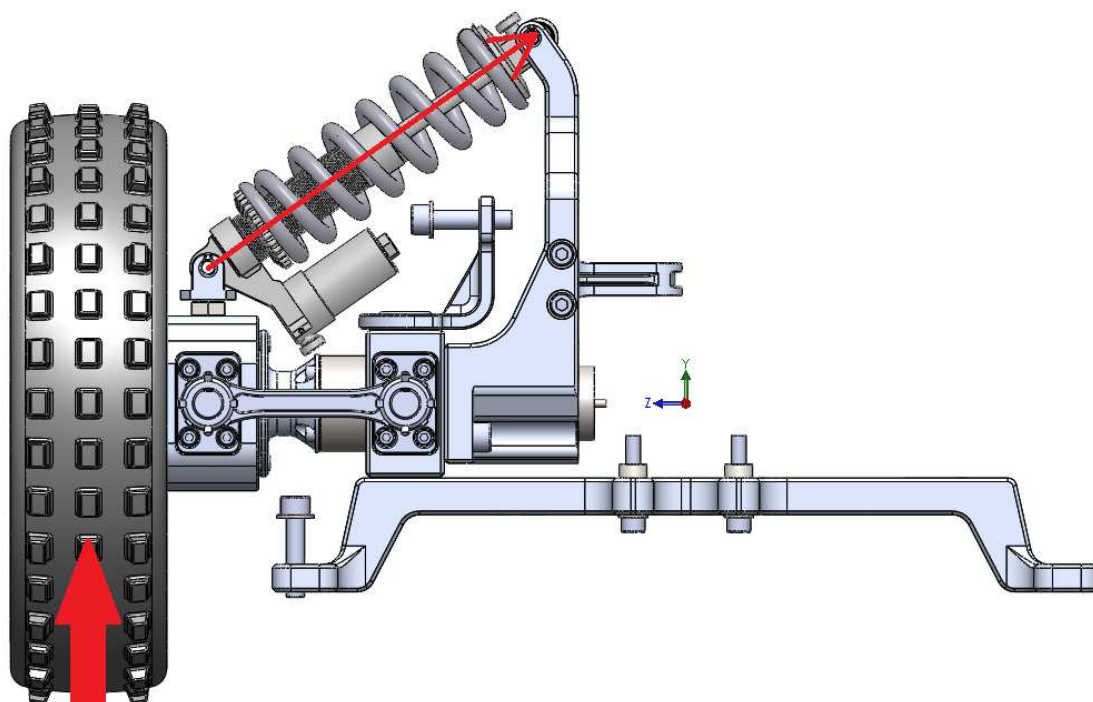
- Výpočtová dokumentace
- Textová dokumentace
- Výkresová dokumentace v programu SolidWorks
- Diplomová práce.docx
- 3D model finální varianty lokomočního ústrojí v SolidWorks.

## Přílohy

### Výpočtová dokumentace

#### Příloha [A] Pevnostní kontrola kyvky

Jeden z kriticky namáhaných dílů lokomočního ústrojí je díl, který je součástí kyvky. Tento díl nazývaný Rameno je oporou tlumiče, který tlumí nárazy vzniklé provozem robotu.



**Obr. 74** Přenos síly od vozovky na Rameno kyvky

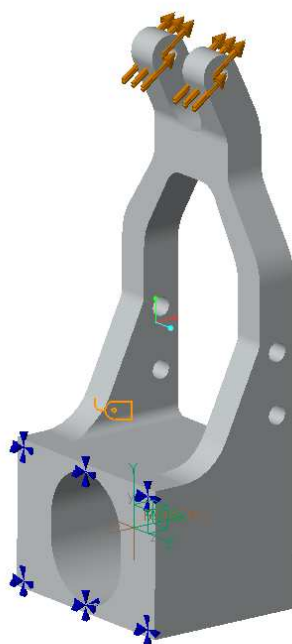
$$\text{Úhel svírající rameno s tlumičem } \alpha \qquad \alpha = 35 \text{ [}^\circ\text{]} \qquad (27)$$

$$\text{Síla od vozovky } F_1 \qquad F_1 = \frac{F_{\text{cel}}}{2} = \frac{2230}{2} = 1115 \text{ [N]} \qquad (28)$$

$$\text{Síla tlačící do Ramene } F_2 \qquad F_2 = F_1 \cdot \cos 35^\circ = 1115 \cdot \cos 35^\circ = 915 \text{ [N]} \qquad (29)$$

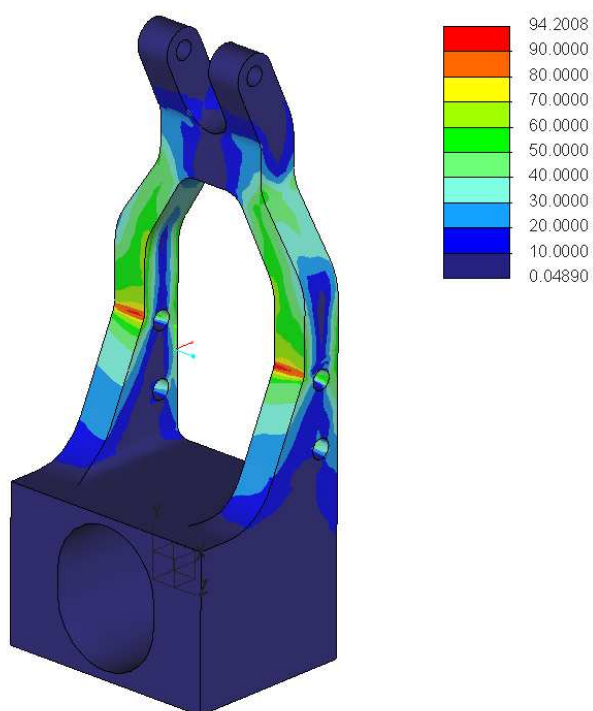
Síla  $F_2$  rovna 915 N je síla kdy je tlumič v nestlačeném stavu. Jakmile dojde k odpružení úhel  $\alpha$  se zmenší. Pro tento návrh budeme tedy počítat se silou rovnou 1000N.

Provedena statická analýza za výše uvedených podmínek.



Obr. 75 Výpočtový model kyvky

## 1. Analýza maximálního napětí



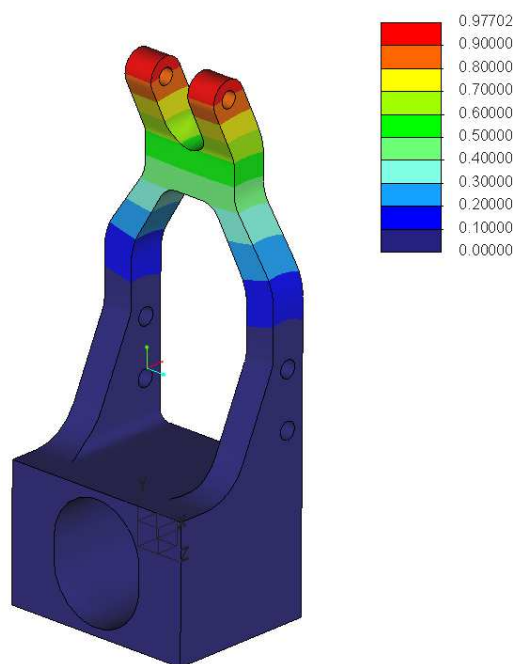
Obr. 76 Analýza napjatosti (Von Mises)

Z technických parametrů vlastnosti materiálu EN AW-6060 T6, kdy maximální dovolené napětí v ohybu  $\sigma = 160 \text{ MPa}$ .

Maximální napětí na kyvce  $\sigma_1 = 94,2 \text{ [MPa]}$  (30)

$$\sigma_1 \leq \sigma_{ds}$$

## 2. Analýza maximálního posunutí



Obr. 76 Analýza napjatosti (Von Mises)

Maximální průhyb při definovaném zatížení je roven 0,97 mm.

## Příloha [B] Návrh tlačné pružiny

Pružina bude sloužit k zajištění dorazu točny

## 3. Základní vlastnosti pružiny

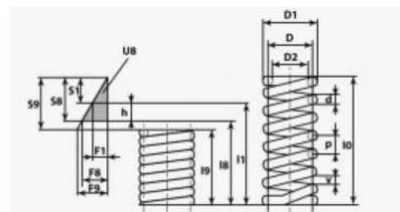
Průměr vodícího pouzdra  $D_f$   $D_f = 10$  [mm] (30)

Průměr vodícího trnu  $D_s$   $D_s = 5$  [mm] (31)

Délka pružiny ve stavu volném  $L_o$   $L_o = 10$  [mm] (32)

Síla pružiny  $F_I$   $F_I = 23,25$  [N] (33)

<b>d</b> průměr drátu	1,25	mm
<b>D<sub>1</sub></b> vnější průměr pružiny	10	mm
<b>l<sub>0</sub></b> volná délka pružiny	10	mm
<b>n</b> počet činných závitů	4	



Obr. 77 Schéma tlačné pružiny

## 4. Materiál pružiny

Materiál byl zvolen standardní pružinová ocel 1.7149 viz níže.

Přehled vlastností oceli 20MnCr5 ( 20MnCrS5 )										1.7147 ( 1.7149 )					
Druh oceli															
Nichtlegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel s cementováním															
TSP															
ČSN EN 10084															
Dělní označení															
20MnCr5 ( 20MnCrS5 ) podle DIN 17210, 14 221 podle ČSN															
Použití															
Shodně namáhavé díly motorových vozidel a strojů soustavy určené k cementování a vyřadí pevnosti v jádře. Prokazuje do hloubky ca 40 mm v pevnosti a 198MnCr5 má vyřadí prokazuje do hloubky pevnosti v jádře při nižší houbovitosti.															
Chemické složení v % hmot ( rozbor tavby )															
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al						
	0,17 – 0,22	0,40	1,10 – 1,40	0,035	0,035	1,00 – 1,30	+	–	–	Při kontrolování velikosti autentičného zrna 0,015-0,050 (normalizace, není uvedeno v normě)					
Dovolené odchylky ve výsledku															
	± 0,02	± 0,03	± 0,05	± 0,005	± 0,005	± 0,05	+	+	+						
Mechanické hodnoty v jádře referenčního vzorku po kalení a popouštění při 190-200 °C (uvedené hodnoty nespojují EN 10084)															
	Příměr mm	Rp0,2 min MPa		Rm MPa		A min %		Z min %		KCU min J/cm <sup>2</sup>					
	d ≤ 11	930		1225 – 1275		8		–		18					
	11 < d ≤ 25	685		990 – 1225		8		–		20					
	25 < d ≤ 40	540		785 – 1080		9		–		25					
Zpracováno na stříhatelnost (S)															
Znáno na měkko (A)															
Zpracováno na rozměty tendosti (TH)															
Zpracováno na feritiko-perlitickou strukturu (PF)															
max. 255															
max. 217															
170 – 217															
150 – 201															
Stav po válcování															
Stav po normalizaci															
Znáno na globální cement (shodně při tažení za studena)															
ca 260															
ca 240															
max. 185															
Prokavitelnost															
	Druh	Vzdálenost od plochy kalení do mm													
	Mate	Tendost v HIC													
		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	
	H	max.	49	49	48	48	40	42	41	39	37	35	34	33	32
	min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	–	–	–	–
	H1	max.	49	49	48	48	43	42	41	39	37	35	34	33	32
	min.	44	42	40	37	34	33	31	30	28	26	25	24	23	–
	H2	max.	46	46	44	42	39	37	36	34	32	30	29	28	27
	min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	–	–	–	–
Páry prokavitelnosti															
	Tendost v HIC														
		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	
	H	max.	49	49	48	48	40	42	41	39	37	35	34	33	32
	min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	–	–	–	–
	H1	max.	49	49	48	48	43	42	41	39	37	35	34	33	32
	min.	44	42	40	37	34	33	31	30	28	26	25	24	23	–
	H2	max.	46	46	44	42	39	37	36	34	32	30	29	28	27
	min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	–	–	–	–
Popouštění křivky (referenční vzorek průměr 10 mm)															
	Tendost v HIC														
		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	
	H	max.	49	49	48	48	40	42	41	39	37	35	34	33	32
	min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	–	–	–	–
	H1	max.	49	49	48	48	43	42	41	39	37	35	34	33	32
	min.	44	42	40	37	34	33	31	30	28	26	25	24	23	–
	H2	max.	46	46	44	42	39	37	36	34	32	30	29	28	27
	min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	–	–	–	–
Technologické vlastnosti															
Tvářeni za tepla															
Doporučené rozměry teplot pro tvářeni za tepla : 1100 až 600 °C															
	Normalizační	Znáni na		Isotermické		Teplota		Teplota kalení		Teplota kalení		Teplota kalení		Teplota kalení	
	základní	základní		základní		cementace		na povrch		pro jominyho		pro jominyho		pro jominyho	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní		základní		základní		základní		základní		základní	
	základní	základní		základní											

k tuhost pružiny	9.2697	N/mm
F <sub>s</sub> max. síla pružiny	23.17425	N
τ max. smykové napětí v drátu	357.74536	MPa
L <sub>s</sub> max. stlačení pružiny	2.5	mm
L délka drátu pružiny	165.4	mm

Tab. 8 Rozměr drátu pružiny

Na základně konstrukčních předpokladů byla zvolena pružina dle výpočtu výše. Zatížení pružiny je pouze občasné a to pouze v případě nasedání a vysedání přepravované osoby.

### Příloha [C] Kontrola kolíkového spoje

Materiál kolíku lze předpokládat ocel ČSN 11600 / 1.0060. Jedná se o běžně dostupnou konstrukční ocel. [3]

hodnoty (MPa)	ČSN EN ISO	11 370 1.0036	11 420 1.0077	11 500 1.0050	11 600 1.0060	11 700 1.0070
Mez kluzu v tahu <sub>okt</sub>		200 - 250	230 - 260	260 - 290	300 - 340	350 - 390
Mez pevnosti v tahu <sub>opt</sub>		370 - 450	420 - 520	500 - 620	600 - 720	700 - 850
Mez únavy v ohybu <sub>oc</sub> (0,43 opt)		160 - 195	180 - 230	215 - 265	260 - 310	300 - 370
Mez únavy v tahu <sub>otc</sub> (0,32 opt)		120 - 145	135 - 165	160 - 200	190 - 235	235 - 270
Mez únavy v krutu <sub>tkc</sub> (0,25 opt)		95 - 110	105 - 130	125 - 155	150 - 180	175 - 210
Hodnoty dovolených napětí (MPa)						
Tah/tlak statický σ <sub>Dt</sub>		100 - 140	115 - 170	140 - 210	150 - 230	115 - 135
Tah/tlak míjivý σ <sub>Dt</sub>		85 - 120	75 - 105	90 - 135	110 - 165	95 - 115
Tah/tlak střídavý σ <sub>Dt</sub>		65 - 90	55 - 80	65 - 95	75 - 115	75 - 87
Ohyb statický σ <sub>Do</sub>		110 - 155	120 - 175	150 - 220	170 - 250	125 - 150
Ohyb míjivý σ <sub>Do</sub>		95 - 120	80 - 125	100 - 150	125 - 180	105 - 125
Ohyb střídavý σ <sub>Do</sub>		70 - 100	60 - 85	70 - 105	85 - 115	80 - 95
Krut statický τ <sub>Dk</sub>		65 - 90	70 - 105	85 - 125	105 - 145	70 - 85
Krut míjivý τ <sub>Dk</sub>		55 - 75	45 - 70	55 - 85	65 - 105	45 - 55
Krut střídavý τ <sub>Dk</sub>		40 - 60	35 - 50	40 - 60	50 - 70	33 - 40
Tlak v stykových plochách		30 - 110	80 - 200	35 - 200	40 - 180	-

Tab. 9 Vlastnosti oceli 11600



Budeme tedy kontrolovat kolíkový spoj mezi hřídelem hnacího kola a hnací řemenicí. Čepy jsou umístěny na osazení hřídele na průměru  $D = 80$  mm.

### 1. Volba dovolených napětí

$$\text{Dovolené napětí v krutu } \tau_{ds} \qquad \tau_{ds} = 90 \text{ [MPa]} \qquad (36)$$

$$\text{Dovolený měrný tlak } p_{ds} \qquad p_{ds} = 70 \text{ [MPa]} \qquad (37)$$

### 2. Kontrola měrného tlaku kolíku

$$\begin{aligned} \text{Síla působící na průměru } D = 80 \text{ } F_N \qquad M_k &= F_{N1} \cdot \frac{D}{2} \\ F_{N1} &= \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 45}{0,08} = 1125 \text{ [N]} \end{aligned} \qquad (38)$$

$$\text{Dovolený měrný tlak } p_d \qquad p_d = 70 \text{ [MPa]} \qquad (39)$$

$$p_v = \frac{F_N}{S} \leq p_d \qquad (40)$$

$$p_v = \frac{F_N}{S} = \frac{F_N}{d \cdot s} = \frac{1125}{0,008 \cdot 0,025} = 5,625 \text{ [MPa]} \qquad (41)$$

$$p_v \leq p_d \qquad (42)$$

### 3. Kontrola na smyk kolíku

$$\text{Dovolené smykové napětí } \tau_{ds} \qquad \tau_{ds} = 90 \text{ [MPa]} \qquad (43)$$

$$\text{Smykové napětí } \tau_k \qquad \tau_k = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \leq \tau_{ds} \qquad (44)$$

$$\tau_k = \frac{4 \cdot 1125}{\pi \cdot 0,008^2} \leq \tau_{ds} \qquad (45)$$

$$\tau_k = 22,4 \text{ [MPa]} \qquad (46)$$

$$\tau_k \leq \tau_{ds} \qquad (47)$$

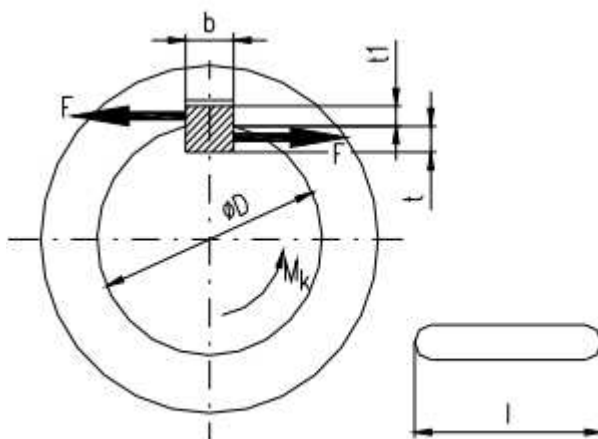
### 4. Zhodnocení

Kolíkový spoj je z hlediska namáhání vyhovující, kdy vyhovuje jak na kontrolu otlačením tak i na stříh.

### Příloha [D] Kontrola pera

V následujícím výpočtu bude kontrolováno tvarový styk pomocí pera těsného. Tyto pera se vkládají do drážky na hřídeli a na ně se mírným tlakem nasune součást s nábojem tak, že nevzniká radiální síla. Spoj musí být zajištěn proti osovému posuvu.

Materiál pera lze předpokládat ocel ČSN 11600 / 1.0060. Jedná se o běžně dostupnou konstrukční ocel. [3]



**Obr. 78** Schéma perového spoje

## 1. Kontrola pera na otláčení

Síla působící na průměru  $D = 12 \text{ } F_{N2}$

$$M_k = F_{N2} \cdot \frac{D}{2}$$

$$F_{N2} = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 45}{0,012} = 7500 \text{ [N]} \quad (48)$$

Dovolené napětí v krutu  $\tau_{ds}$

$$\tau_{ds} = 90 \text{ [MPa]} \quad (49)$$

Dovolený měrný tlak  $p_{ds}$

$$p_{ds} = 70 \text{ [MPa]} \quad (50)$$

Měrný tlak  $p$

$$p = \frac{F_{N2}}{S} \leq p_{ds} \quad (51)$$

$$p = \frac{2 \cdot M_k}{D \cdot l \cdot t_1} \leq p_{ds} \quad (52)$$

$$p = \frac{2 \cdot 45}{0,012 \cdot 0,017 \cdot 0,0021} = 35,715 \text{ [MPa]} \quad (53)$$

$$p \leq p_{ds} \quad (54)$$

## 2. Kontrola pera na smyk

Na smyk pera obvykle nekontrolujeme, v nutných případech se použije výpočet:

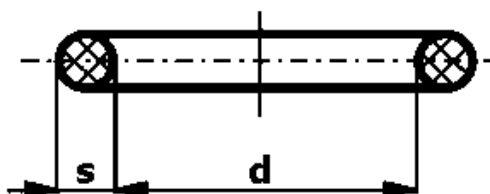
$$\tau_s = \frac{2 \cdot M_k}{D \cdot l \cdot b} \leq \tau_{ds} \quad (55)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot M_k}{D \cdot l \cdot b} = \frac{2 \cdot 45}{0,012 \cdot 0,17 \cdot 0,005} = 9 \text{ [MPa]} \quad (56)$$

$$\tau_s \leq \tau_{ds} \quad (57)$$

## Příloha [E] Kontrola pera

O kroužky jsou těsnící prvky, používané zejména k těsnění kapalin a plynů. O kroužky mají různý průměr a jsou vyrobeny z pryžového materiálu, který má výbornou elasticitu.



Obr. 79 O kroužek

**TRELLEBORG** Trelleborg Sealing Solutions

ISO Quick Search O-Rings + Housings O-Ring Quick Search O-Ring dimensions

Radial Outer Sealing Radial Inner Sealing Axial Sealing inch millimeter

static dynamic

Input [mm]

	Nominal Size	Standard/Fit	Lower Tolerance Limit	Upper Tolerance Limit	Min. Dimension	Max. Dimension
Bore-Ø	d <sub>10</sub> 50.180	H7*	0.000	0.030	50.180	50.210
Rod-Ø	d <sub>5</sub> 50.000	f9*	-0.087	-0.025	49.913	49.975
Groove-Ø	d <sub>s</sub> 53.600	H9*	0.000	0.074	53.600	53.674
Groove Width	b <sub>1</sub> 3.500	optional	0.000	0.250	3.500	3.750
Groove Radius	r 0.300	optional	-0.100	0.100	0.200	0.400
O-Ring Inside-Ø	d <sub>1</sub> 49.00	optional	-0.47	0.47	48.53	49.47
OR Cross-Section-Ø	d <sub>2</sub> 2.50	optional	-0.09	0.09	2.41	2.59

Temperature °C 23 Linear Thermal Expansion Coefficient 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup> 175

O-Ring Material Group NBR O-Ring Material Hardness [IRHD] 70.00

Calculation Results

	Concentric Position		Eccentric Position	
	min.	max.	min.	max.
Compression incl. R [%]	20.15	29.25	13.85	33.84
Compression incl. R [mm]	0.47	0.75	0.33	0.87
Gap g [mm]	0.102	0.149		0.297
Housing Fill [%]	63.78	84.45		
Stretch OR Inside-Ø [%]	0.90	2.98		
R [%]	1.08	2.28		
OR Cross-Section-Ø incl. R [mm]	2.36	2.56		
t [mm]	1.81	1.88		
Compression OR Outside-Ø [%]	-	1.92		
Total Compression Force [N]	302	653		

1 Warning Message:  
1. Circumferential compression at the OR Outside-Ø too small

Version 5.1

ISO = in accordance with ISO 3801-1 Class B  
R = Reduction in cross section due to elongation  
OR = O-Ring  
t = Radial Housing Depth (incl. gap)  
\* = in accordance with ISO 286-2

Obr. 80 Výpočet O kroužek